



**University of  
Zurich**<sup>UZH</sup>

**Zurich Open Repository and  
Archive**

University of Zurich  
University Library  
Strickhofstrasse 39  
CH-8057 Zurich  
[www.zora.uzh.ch](http://www.zora.uzh.ch)

---

Year: 2013

---

## **Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge - Chancen und Risiken. Formation de nouveaux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne – chances et risques**

Haeberli, Wilfried ; Bütler, Michael ; Huggel, Christian ; Müller, Hansruedi ; Schleiss, Anton

**Abstract:** Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge: Klimaabhängige Bildung und Herausforderungen für eine nachhaltige Nutzung (Projekt NELAK des NFP 61). Weltweit schwinden die Gletscher rasant, auch die Alpen dürften ihre Gletscher in den kommenden Jahrzehnten weitgehend verlieren. In den eisfreien Gebieten bilden sich dabei zahlreiche neue Seen. Das Projekt NELAK behandelt in einem integrativ-multidisziplinären Ansatz Fragen nach dem optimalen Umgang mit diesen neuen Elementen der Landschaft und des Wasserkreislaufs. In engem Kontakt mit Behörden und Wirtschaft werden Grundlagen zu relevanten Aspekten der Naturgefahren, der Wasserkraft, des Tourismus und des Rechts erarbeitet sowie an Fallbeispielen diskutiert. Der vorliegende Bericht enthält eine erste systematische Wissensbasis sowie Empfehlungen für die dringend notwendige Planung: Was kommt auf uns zu, was können wir tun und wie gehen wir am besten vor? Nouveaux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne: développement lié au climat et défis pour une utilisation durable (projet NELAK du PNR 61). Les glaciers déclinent à toute vitesse dans le monde entier; les Alpes ne sont pas épargnées et devraient perdre la plupart de leurs glaciers au cours des prochaines décennies, entraînant la formation de nombreux nouveaux lacs. Le projet NELAK vise à optimiser la gestion des nouveaux éléments du paysage et du cycle hydrologique par le biais d'une approche multidisciplinaire et intégrée. Le contact étroit avec les autorités et les milieux économiques a permis d'élaborer les bases des aspects importants concernant les dangers naturels, l'énergie hydraulique, le tourisme et le droit; ils sont illustrés à partir d'études de cas. Ce rapport contient une première base de connaissances systématiques ainsi que des recommandations pour la planification des mesures les plus urgentes: ce qui nous attend, ce que nous pouvons faire et comment le réaliser au mieux?

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich

ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-85520>

Published Research Report

Published Version

Originally published at:

Haeberli, Wilfried; Bütler, Michael; Huggel, Christian; Müller, Hansruedi; Schleiss, Anton (2013). Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge - Chancen und Risiken. Formation de nouveaux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne – chances et risques. Zürich: vdf Hochschulverlag AG.

# Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken

## Formation de nouveaux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne – chances et risques

W. Haeberli, M. Bütler, C. Hugel, H. Müller und A. Schleiss (Hrsg./éds)



Nachhaltige Wassernutzung  
Nationales Forschungsprogramm NFP 61



SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS  
ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTLICHEN FORSCHUNG



## Impressum I

Publiziert mit Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung.

### Empfohlene Zitierweise

NELAK (2013): Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken. Formation des nouveaux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne – chances et risques. Forschungsbericht NFP 61. Haeberli, W., Bütler, M., Huggel, C., Müller, H. & Schleiss, A. (Hrsg.). Zürich, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 300 S.

### Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-7281-3533-9 [Printausgabe]

Download open access:

ISBN 978-3-7281-3534-6 / DOI 10.3218/3534-6

[www.vdf.ethz.ch](http://www.vdf.ethz.ch)

Gestaltung Umschlag: Esther Schreier, Basel

Farbfotos Vorderseite: Universität Zürich [1, 3]; FIF, Universität Bern [2]

Videostills Rückseite: Wissensmanagement Umwelt, Halbbild Halbtou [1-2]

Farbfoto Rückseite: FIF, Universität Bern [3]

Duoton-Fotos: Beat Ernst, Basel

© 2013, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

This work is licensed under  
a creative commons license.



**Forschungsbericht NFP 61, Projekt NELAK**

## **Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken**

### **Formation des nouveaux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne – chances et risques**

**Herausgegeben von W. Haeberli, M. Bütler, C. Huggel, H. Müller und A. Schleiss**



## Impressum II

### Projekt NELAK Verantwortlichkeit/Herausgeber

Wilfried Haeberli (Leitung); weitere Projektverantwortliche: Michael Bütler, Christian Huggel, Hansruedi Müller, Anton Schleiss

### Projekt NELAK Autorenschaft und Mitarbeit

*Einleitung, Potenzielle Seen, Naturgefahren und Risiken (Geographie, Universität Zürich)*

Wilfried Haeberli, Christian Huggel, Matthias Künzler, Yvonne Schaub

*Touristisches Potenzial (ehem. FIF, Universität Bern)*

Hansruedi Müller, Therese Lehmann

*Hydroelektrisches Potenzial (HCD, EPF Lausanne)*

Anton Schleiss, Frédéric Jordan, Stéphane Terrier

*Rechtliche Aspekte (Rechtsanwalt in Zürich, [www.bergrecht.ch](http://www.bergrecht.ch))*

Michael Bütler

*Berichtgestaltung, Formatierung, (Geographie, Universität Zürich)*

Matthias Künzler, Nico Mölg



### Nachhaltige Wassernutzung

Nationales Forschungsprogramm NFP 61

Das Nationale Forschungsprogramm «Nachhaltige Wassernutzung» (NFP 61) erarbeitet in 16 Forschungsprojekten wissenschaftliche Grundlagen und Methoden für einen nachhaltigen Umgang mit den Wasserressourcen in der Schweiz. Die Forschungsphase des Programms dauert von Januar 2010 bis Ende 2013.

### Leitungsgruppe

Christian Leibundgut (Präsident), Günter Blöschl, Dietrich Borchardt, Ulrich Bundi, Bernd Hansjürgens, Bruno Merz, Franz Nobilis

Stephan Müller (Beobachter der Bundesverwaltung), Patricia Fry (Leiterin Wissensaustausch), Barbara Flückiger (Programmkordinatorin)

Nina Buchmann (Delegierte der Abteilung IV des Nationalen Forschungsrats)

[www.nfp61.ch](http://www.nfp61.ch)



FONDS NATIONAL SUISSE  
SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS  
FONDO NAZIONALE SVIZZERO  
SWISS NATIONAL SCIENCE FOUNDATION

## ZUSAMMENFASSUNG

---

Als Folge der Gletscherschmelze bilden sich neue Seen in den Übertiefungen der freigelegten Gletscherbetten. Der nachhaltige Umgang mit diesem klimabedingten Phänomen führt zu noch kaum behandelten Fragen der Nutzung und des Schutzes. Der vorliegende Bericht des Projektes NELAK des Nationalen Forschungsprogramms 61 „Nachhaltige Wassernutzung“ stellt die vorhandene Wissensbasis hinsichtlich neuer Seen im Hochgebirge zusammen. Er wurde in interdisziplinärer Zusammenarbeit und in engem Kontakt mit Institutionen der Politik und der Privatwirtschaft sowie mit betroffenen NGOs als Entscheidungsgrundlage für die zukünftige Planung vorbereitet. Der Schwerpunkt der behandelten Aspekte liegt bei (a) der Entstehung und Charakteristik der neuen Seen in Raum und Zeit, (b) der Abschätzung der von diesen Seen ausgehenden Naturgefahren, (c) den Nutzungspotenzialen für die Energiewirtschaft, (d) den touristischen Perspektiven und (e) den rechtlichen Fragen hinsichtlich Nutzung, Verantwortung und Schutz. Ein gesamtschweizerischer Überblick wird mit vertieften Analysen in Fallstudien kombiniert. Die am Schluss formulierten Empfehlungen basieren auf der Synthese des gesammelten und gemeinsam reflektierten Materials.

### *Neue Seen*

Der Schwund der Gebirgsgletscher ist ein weltweites Phänomen und läuft mit zunehmender Geschwindigkeit ab. Dies ist eine Folge des globalen Temperaturanstiegs, der wiederum immer stärker durch Einflüsse des Menschen (v.a. Treibhausgase) auf den Strahlungshaushalt der Erde gesteuert wird. Die Gletscher der Alpen verlieren gegenwärtig jährlich rund 2 bis 3 % ihrer Fläche (2011: rund 1'800 km<sup>2</sup>) und ihres Volumens (2011: rund 80 ± 20 km<sup>3</sup>). Die Intensität der Schmelzprozesse führt dabei zunehmend zu Zerfallerscheinungen des Eises. Modellrechnungen verschiedener Komplexität ergeben seit vielen Jahren übereinstimmend, dass bei realistischen Szenarien weiterer Erwärmung wesentliche Teile des noch verbleibenden Eisvolumens bereits bis zur Jahrhundertmitte abschmelzen und auch grosse

Gletscher in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts bis auf kleine Reste verschwinden dürften.

Die neu entstehenden Seen beschleunigen den Eiszerfall noch zusätzlich. Jüngste Beispiele aus der Schweiz sind der „Gletschersee“ beim unteren Grindelwaldgletscher, der See am Triftgletscher, die neuen Seen am Palügletscher oder der gegenwärtig rasch wachsende See an der Zunge des Rhonegletschers. Ein digitales Geländemodell der Schweizer Alpen ohne Gletscher zeigt in den jetzigen Gletscherbetten 500–600 Übertiefungen mit einer Gesamtfläche von rund 50–60 km<sup>2</sup>, wo in den nächsten Jahren und Jahrzehnten weitere Seen entstehen können. Die grössten dieser potenziellen Seen haben eine mittlere Tiefe von 100 m, die meisten sind jedoch im Schnitt weniger als 50 m tief. Rund ein Drittel aller Übertiefungen weist ein Volumen von über 1 Mio. m<sup>3</sup> auf, etwa 40 haben ein Volumen von über 10 Mio. m<sup>3</sup>. Potenzielle Seen mit Volumen über 50 Mio. m<sup>3</sup> sind bei den Gletschern Aletsch, Gorner, Otemma, Corbassière und Gauli zu erwarten. Das Gesamtvolumen der modellierten Übertiefungen entspricht ca. 3 % des heutigen (2011) Gletschervolumens. Die modellierten Übertiefungen sind vor allem von der Oberflächenneigung der Gletscher abhängig und damit weitgehend robust. Ob darin wirklich Seen entstehen, hängt u.a. davon ab, ob eine schluchtartige Entwässerungsrinne vorhanden ist und wie schnell seichte Übertiefungen mit Sedimenten gefüllt werden.

### *Neue Gefahren*

Die neuen Seen stellen ein mögliches, ernst zu nehmendes Gefahrenpotenzial dar. Sie bilden sich oft am Fuss steiler Bergflanken, deren Stabilität mit den Veränderungen im Hochgebirge wie Permafrost-Degradation oder durch Gletscherschwund reduzierten Eis-Gegendruck langfristig abnimmt. Auf lange Sicht muss deshalb mit der Möglichkeit von grosskalibrigen Sturzereignissen in Seen gerechnet werden, welche zu einem Seeausbruch und damit zu weitreichenden Flutwellen ins Tal führen können. Die Eintretenswahrscheinlichkeit solcher Katastrophen ist klein, nimmt aber mit wachsender Anzahl neuer Seen und den andauernden Veränderungen im Hochgebirge zu. Da diese Voraussetzungen über sehr lange Zeiträume aktuell bleiben werden, ist eine Beurteilung aller Seen notwendig. Im vorliegenden Bericht wird exemplarisch das Gefahrenpotenzial kurz für die Fallbeispiele Vadret da Palü (GR), Chüebodengletscher (VS/TI), Rhonegletscher (VS), Steingletscher (BE) und Aletschgletscher (VS) sowie ausführlicher für die Fallstudien Grindelwald (BE), Mauvoisin (VS), Oberengadin (GR) und Oberhasli (BE) beurteilt. Daraus wird ersichtlich, dass vor allem die potenziellen Seen im Gebiet des heutigen

Aletschgletschers auf längere Sicht bedeutende Gefahrenpotenziale darstellen. Weiter muss die Gefahr von vermehrten Bergstürzen und Seeausbrüchen insbesondere im Zusammenhang mit dem weiteren Betrieb oder Ausbau von Kraftwerken in den Alpen berücksichtigt werden.

### *Chancen und Herausforderungen für die Wasserkraft*

Die Wasserkraft ist der Hauptpfeiler der schweizerischen Elektrizitätsversorgung und wird auch in absehbarer Zukunft die wichtigste und effizienteste erneuerbare Energie in der Schweiz bleiben. Mit dem Rückzug der Gletscher verändern sich die Zuflüsse zu den Stauseen. Seit etwa 30–40 Jahren sind die Zuflüsse zu den Stauseen angewachsen. Dieser Trend wird dank der Gletscherschmelze je nach Klimaszenarien die nächsten 10–30 Jahre noch anhalten. Anschliessend werden mit dem fortschreitenden Verschwinden der Gletscher die Zuflüsse wieder stark abnehmen. Die dabei neu entstehenden Seen, welche höher als die bestehenden Stauseen liegen, bieten aber eine Chance, um die heutige Stromproduktion aus Wasserkraft aufrechtzuerhalten. Durch den Bau von neuen Talsperren kann das Volumen dieser natürlichen Seen vergrössert werden und zur Produktion von Spitzenenergie aber auch zu Pumpspeicherung von zeitweise überschüssiger Wind- und Sonnenenergie verwendet werden. Die Speicherfunktion der bestehenden und zukünftigen Stauseen ist für den Wasserhaushalt in der Schweiz von grösster Bedeutung, da diese nach dem Abschmelzen der Gletscher so weit wie möglich deren Speicherfunktion übernehmen müssen. Neben der sicheren Stromversorgung werden die Stauseen zukünftig vermehrt zur Anreicherung der Gewässer in lang andauernden Trockenperioden sowie zum Hochwasserschutz beitragen müssen. Die Gefahr von unkontrollierten Ausbrüchen sowie das Überschwappen bei Felsstürzen und Erdbeben in diese neu entstandenen Gletscherseen kann mit dem Bau von Talsperren vermindert werden, welche kontrollierte Überläufe sowie genügend Freibord gegen Impulswellen haben. In diesem Sinne werden die neuen Stauseen Mehrzweck- und Synergieprojekte sein. Nicht zuletzt müssen die neuen Stauseen so konzipiert sein, dass sie auch die verstärkte Sedimentzufuhr nach Abschmelzen der Gletscher mit entsprechenden Spülvorrichtungen beherrschen können.

An zwei Fallstudien wurde das energiewirtschaftliche Potenzial der neuen Gletscherseen untersucht. Im Fallbeispiel Mauvoisin hat sich gezeigt, dass der potenzielle neue See Corbassière mit einer relativ kleinen Staumauer zu einem bedeutenden Speicher von rund 50 Mio. m<sup>3</sup> Inhalt aufgestaut werden könnte. Neben der zusätzlichen Saisonspeicherung kann die Gefällsstufe von durchschnittlich 600 m für ein Pumpspeicherwerk von 500 MW genutzt werden. Dieses Pumpspeicher-

kraftwerk Mauvoisin-Corbassière wäre bereits bei den heutigen Strompreisen wirtschaftlich und würde die bestehenden Anlagen energiewirtschaftlich erheblich aufwerten.

Beim Kraftwerkskomplex Oberhasli (KWO) sind zwei neue Seen bei den Gletschern Gauli und Trift entstanden. Der Gaulisee müsste mit einer kleinen Mauer gesichert werden. Das Wasser könnte direkt mit einem neuen Kraftwerk in den bestehenden Grimselstausee turbinert werden. Beim Triftsee erweist sich als wirtschaftlichstes Projekt der Bau einer 110 m hohen Talsperre mit einem Stausee von 105 Mio. m<sup>3</sup> Inhalt. Das Wasser könnte zur Erzeugung von Spitzenenergie in einer neuen Zentrale bei Innertkirchen turbinert werden. Die beiden Anlagen erhöhen die regulierbare Leistung beim KWO um 500 MW und steigern die Energiewirtschaftlichkeit der heutigen Anlagen sowie diejenigen des geplanten Ausbaues KWO plus.

### *Chancen und Herausforderungen für den Tourismus*

Die Gletscherschmelze führt vielerorts zu einer als karger und wilder empfundenen Landschaft und hat einen Einfluss auf die touristische Gesamtatmosphäre. Da die Gletscher nicht von heute auf morgen verschwinden, löst die Landschaftsveränderung jedoch kaum sensible Reaktionen bei den Touristen aus, da sie sich langsam an das veränderte Landschaftsbild gewöhnen können. Die neuen, gut zugänglichen Gletscherseen tragen zudem häufig deutlich zu einer Aufwertung der Landschaft bei.

Weil Gletscherrouten abgeändert werden müssen, Attraktionen wie Gletscherhöhlen wegschmelzen und Skipisten aufwendig präpariert werden müssen, sind die Bergsportverantwortlichen gefordert, den Erholungswert ihrer Destination zu erhalten. Als Folge entstehen neue Attraktionen wie Hängebrücken, Klettersteige und Lehrpfade. Für die neue sowie die bestehende Infrastruktur sind oft zusätzliche Investitionen in die Sicherung der Zustiege nötig, sodass Hütten vermehrt unter Rentabilitätsdruck geraten.

Eine durch die neuen Gletscherseen möglicherweise veränderte Gefahrensituation kann zu einer Verunsicherung der Touristen führen. Mittels Raumplanung (z.B. Ergänzung Gefahrenkarte), organisatorischen (z.B. integrales Risikomanagement) und baulichen Massnahmen kann bzw. muss seitens der Behörden auf die veränderte Situation reagiert werden. Einer zweckdienlichen Sensibilisierung und Kommunikation von bzw. gegenüber Bevölkerung und Touristen kommt dabei eine hohe Bedeutung zu.

Dies alles führt zu Anpassungs- und allenfalls zu hohen Schadenskosten. Es kann zu Investitionskosten für die Risiko- und Gefahrenminimierung inkl. allfälliger Folgekosten kommen. Im Schadensfall muss neben den direkten Kosten mit Umsatzeinbussen und Auswirkungen auf das Image sowie das Landschaftsbild gerechnet werden. Im Beispiel Grindelwald liegen die Anpassungsmassnahmen (Stollenbau) bei CHF 15 Mio. Die Schadenskosten im Ereignisfall werden auf über CHF 130 Mio. geschätzt. Sie setzen sich wie folgt zusammen:

- primäre Kosten (u.a. Sachschäden an Gebäuden und Verkehrswegen)
- sekundäre Kosten (u.a. Evakuierung, Räumung, Betriebsausfälle)
- tertiäre Kosten („Abschreckungskosten“, Imageverlust)

Entstehende Präventionskosten (u.a. Frühwarnsystem, Vorsorgemassnahmen) steigen über die Jahre ebenfalls in Millionenhöhe. Nach der Implementierung von Anpassungsmassnahmen können sie meist erheblich reduziert werden.

### *Verantwortlichkeiten, Schutz und Nutzung*

Gletscherseen sind sachenrechtlich gleich zu behandeln wie Fels- und Gletschergebiete. Sie gehören als kulturunfähiges Land zu den öffentlichen Sachen im Gemeindegebrauch, welche jedermann zur persönlichen, nicht kommerziellen Nutzung offenstehen. Gletscherseen sind unter der Hoheit (Bsp. Bern) oder im Eigentum des jeweiligen Territorialkantons, welcher dieses Recht auf die Gemeindeebene delegieren kann (Bsp. Wallis). In der Regel handelt es sich bei Gletscherseen um öffentliche Gewässer. Es gilt daran eine Vermutung zuungunsten des Privateigentums, welches nur möglich ist, wenn es in Gerichtsverfahren mit (meist alten) Urkunden nachgewiesen werden kann (Bsp. Aare- und Rhonegletscher).

Bei der Frage der Verantwortlichkeit ist zu unterscheiden zwischen der Zuständigkeit für das Ergreifen von Schutzmassnahmen und den haftungs- und strafrechtlichen Folgen, wenn Versäumnisse zu Unfällen und Schäden führen. Betreffend Hochwasser sind das Raumplanungs-, Wald- und Wasserbaurecht wichtig. Das integrale Risikomanagement umfasst Massnahmen der Prävention, Intervention und Wiederinstandstellung. Raumplanerische Massnahmen sind prioritär, Schutzbauten (Abflusstollen, Verbauungen, Dämme usw.) sekundär. Ereigniskataster und Gefahrenkarten werden in den Richt- und Nutzungsplänen mittels Gefahrenzonen und Vorschriften in den kommunalen Bau- und Zonenreglementen umgesetzt. Je nach Gefährdung und Zone sind Rück- und Auszonungen oder Nutzungsbeschränkungen und Auflagen zu prüfen. Im Umgang mit Hochwassergefahren sollen die Gewässerräume festgelegt, Abflusskorridore freigehalten und Rückhalte-

räume geschaffen werden. Neben Sicherheitsaspekten (Schutzziele) sind die finanzielle und personelle Zumutbarkeit und Naturverträglichkeit von Schutzmassnahmen zu beachten. Bei drohenden Hochwassern sind Sicherheitskonzepte, Warnung, Alarmierung, evtl. Evakuierungen erforderlich.

Rund um Gletscherseen treffen ökologische, sicherheitsbezogene, wirtschaftliche und gesellschaftliche Interessen aufeinander, welche im Einzelfall bei Bauvorhaben zu eruieren und abzuwägen sind. Bei einer allfälligen Nutzung von Gletscherseen für die Stromproduktion sind u.a. die wasserrechtlichen Vorgaben relevant. Die territorial betroffenen Kantone können auf Gesuch hin Wasserrechte für höchstens 80 Jahre verleihen. Dazu sind in der Konzession z.B. der Umfang des verliehenen Nutzungsrechts, die einzuhaltende Restwassermenge, wirtschaftliche Leistungen (Wasserzins und Abgaben) und allfällige Rechte der Gemeinwesen auf Heimfall oder Rückkauf zu regeln. Bestehende und vor allem neue Wasserkraftwerke haben angemessene Restwassermengen einzuhalten. In den kommenden Jahrzehnten werden viele Konzessionen ablaufen, was die Frage der Konzessionserneuerung bzw. des Heimfalls der Anlagen aufwirft.

Sollen im Gebirge touristische Seilbahnen errichtet werden, ist gemäss Transportrecht ein bundesrechtliches Plangenehmigungs- und Konzessionsverfahren erforderlich. Bei allen Bauvorhaben sind nach geltendem Recht viele Gesetze zu beachten, so z.B. in den Bereichen Gewässer-, Natur- und Heimatschutz, Raumplanung sowie Umweltschutz (Bsp. Umweltverträglichkeitsprüfung). Zu berücksichtigen sind insbesondere zahlreiche nationale und kantonale oder kommunale Schutzgebiete (Landschaften und Lebensräume). Zu bedenken ist, dass neue Infrastrukturen später meistens Folgeerschliessungen nach sich ziehen. Bei Bauvorhaben zur Nutzung von Gletscherseen ist vorgängig eine umfassende Abklärung nötig, um Potenziale und Gefahren zu erkennen und rechtliche Konflikte zu reduzieren. Besonders wertvolle Hochgebirgslandschaften sollen möglichst unberührt erhalten bleiben.

## *Fazit*

Mit der Klimaänderung entstehen Bedingungen jenseits historischer Empirie und kurzfristiger Reversibilität. Gerade im Hochgebirge lassen die beschleunigten Veränderungen hochkomplexer natürlicher und sozioökonomischer Systeme die Zeit für offenen Diskurs zu strittigen Fragen immer knapper werden. Die sorgfältige Abwägung von Projektierungen bei wachsender Unsicherheit wird immer schwieriger und die Freiheitsgrade für Entscheidungen bei kumulativen Stresskombinationen nehmen ab. Der vorliegende Bericht soll mithelfen, solchen Herausforderungen für das Phänomen der neuen Seen – einer absehbaren langfristigen Entwicklung – zu begegnen.





# INHALT

---

<b>Zusammenfassung</b>	<b>v</b>
<b>Inhalt</b>	<b>xiii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Hintergrund	1
1.2 Ziele	3
1.3 Einbezug von Natur & Landschaft	4
1.4 Verwendete Klimaszenarien	4
1.5 Einbezug von Stakeholdern	5
1.6 Aufbau	6
<b>2 Potenzielle Seen</b>	<b>9</b>
2.1 Methode	9
2.2 Anzahl und Dimensionen	10
2.3 Unsicherheiten	11
2.4 Entstehungszeitraum	12
2.5 Sedimentbilanz	17
<b>3 Naturgefahren und Risiken</b>	<b>19</b>
3.1 Hintergrund	19
3.2 Risikokonzept	21
3.3 Gefahrenpotenzial	24
	xiii

3.4	Schadenpotenzial	28
3.5	Prävention	28
<b>4</b>	<b>Potentiel hydroélectrique</b>	<b>31</b>
4.1	Introduction	31
4.2	Description du modèle hydrologique-hydraulique	32
4.2.1	Description générale du logiciel RS3.0	32
4.2.2	Modèle glaciaire avec calcul du bilan de masse	34
4.2.3	Modèle de production d'énergie	35
4.2.4	Prix de l'électricité	36
4.2.5	Scénarios climatiques utilisés	37
4.2.6	Procédure de calage	38
<b>5</b>	<b>Touristisches Potenzial</b>	<b>41</b>
5.1	Bedeutung des Tourismus für den Alpenraum – Herausforderung Klimawandel	41
5.2	Landschaft und deren Bewertung	42
5.3	Bedeutung und Bewertung der Landschaft aus touristischer Sicht	45
5.4	Ökonomische Auswirkungen der Gletscherseen auf den Tourismus	46
5.5	Vorgehen und Methodik	49
<b>6</b>	<b>Rechtliche Aspekte</b>	<b>53</b>
6.1	Wem gehören die neuen Gletscherseen?	53
6.1.1	Hoheits- und Eigentumsverhältnisse im Hochgebirge	53
6.1.2	Bedeutung der Eigentumsfrage für andere Rechtsbereiche	58
6.1.3	Ermittlung der Eigentumsverhältnisse im konkreten Fall	59
6.1.4	Fazit	60
6.2	Wer ist für den Schutz vor Gefahren verantwortlich?	61
6.2.1	Rechtsgrundlagen betreffend Schutz vor Naturgefahren	61
6.2.2	Präventive Schutzmassnahmen mittels Raumplanung	62

6.2.3	Präventiver Naturgefahrenschutz im Wald- und Wasserbaurecht	64
6.2.4	Sicherungspflichten der Behörden	66
6.2.5	Strafrechtliche Aspekte	77
6.2.6	Haftungsgrundlagen im Schadenfall	78
6.2.7	Fazit	83
6.3	Nutzung und Schutz von Gletscherseen	84
6.3.1	Interessenkonflikte rund um Gletscherseen	84
6.3.2	Wasserrechtliche Vorgaben für die Nutzung der Wasserkraft	85
6.3.3	Gewässerschutz im Zusammenhang mit der Wasserkraftnutzung	92
6.3.4	Erschliessung von Gletscherseen zu touristischen Zwecken	99
6.3.5	Raumplanungsrechtliche Aspekte	101
6.3.6	Landschaftsschutz	103
6.3.7	Biotop- und Artenschutz, Jagd und Fischerei	107
6.3.8	Umweltverträglichkeitsprüfung und Verbandsbeschwerderecht	111
6.3.9	Interessenabwägung und Konfliktlösung im Einzelfall	113
6.3.10	Würdigung und Ausblick	114
<b>7</b>	<b>Fallbeispiele</b>	<b>117</b>
7.1	Vadret da Palü, GR	117
7.2	Chüebodengletscher, VS, TI	118
7.3	Steingletscher, BE	120
7.4	Rhonegletscher, VS	122
7.5	Aletschgletscher, VS	122
7.6	Laguna 513, Peru	124
<b>8</b>	<b>Fallstudie Grindelwald</b>	<b>127</b>
8.1	Naturrisiken	127
8.1.1	Gefahrenpotenzial	127
8.1.2	Schadenpotenzial (mit Fokus auf die touristische Infrastruktur)	130

8.1.3	Getroffene Massnahmen zur Risikoreduktion	144
8.1.4	Fazit aus touristischer Sicht	149
8.2	Touristisches Potenzial	151
8.2.1	Destination Grindelwald	151
8.2.2	Veränderung der Landschaftsattraktivität: Einfluss auf die Nachfrage	152
8.3	Hydroelektrisches Potenzial	157
8.4	Ausgewählte rechtliche Aspekte	157
<b>9</b>	<b>Fallstudie Mauvoisin</b>	<b>159</b>
9.1	Potentiel hydroélectrique	159
9.1.1	Description du bassin versant avec les aménagements existants	159
9.1.2	Descriptions des projets futurs	161
9.1.3	Calibration et vérification du modèle	163
9.1.4	Analyse des scénarios climatiques – évolution du glacier de Corbassière	166
9.1.5	Analyse des scénarios climatiques – prévision des débits	168
9.1.6	Analyse des scénarios climatiques – origine des débits	173
9.1.7	Analyse énergétique et économique des aménagements existants et futurs	180
9.1.8	Conclusions	183
9.2	Naturrisiken	184
9.2.1	Potenzielle Seen	184
9.2.2	Stürze und Schwallwellen	185
9.2.3	Kaskadeneffekte	185
9.2.4	Fazit	186
9.3	Touristisches Potenzial	187
9.4	Ausgewählte rechtliche Aspekte	189

<b>10</b>	<b>Fallstudie Oberengadin</b>	<b>191</b>
10.1	Naturreisiken	191
10.2	Touristisches Potenzial	196
10.2.1	Destination Pontresina	196
10.2.2	Veränderung der Landschaftsattraktivität: Einfluss auf die Nachfrage	197
10.2.3	Gefahren/Risiken bei einem Seeausbruch	200
10.2.4	Fazit aus touristischer Sicht	201
10.3	Hydroelektrisches Potenzial	203
10.4	Ausgewählte rechtliche Aspekte	203
<b>11</b>	<b>Fallstudie Oberhasli</b>	<b>205</b>
11.1	Potentiel hydroélectrique	205
11.1.1	Description du bassin versant avec les aménagements existants	205
11.1.2	Calibration et vérification du modèle	206
11.1.3	Potentiel hydroélectrique des nouveaux lacs	211
11.1.4	Descriptions des projets futurs	217
11.1.5	Analyse des scénarios climatiques – évolution des glaciers	227
11.1.6	Analyse des scénarios climatiques – prévision des débits	231
11.1.7	Analyse des scénarios climatiques – origine des débits	236
11.1.8	Analyse énergétique et économique des aménagements existants et futurs	239
11.1.9	Conclusions	242
11.2	Touristisches Potenzial	242
11.2.1	Stromkonzern als Tourismusanbieter	243
11.2.2	Einfluss der Gletscherveränderungen auf Hüttenzustiege	243
11.2.3	Fazit aus touristischer Sicht	247
11.3	Naturreisiken	248
11.4	Ausgewählte rechtliche Aspekte	249

<b>12</b>	<b>Relevanz und Empfehlungen für Stakeholder</b>	<b>253</b>
<b>13</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>257</b>
13.1	Seen und Naturrisiken	257
13.2	Hydroelektrisches Potenzial	270
13.3	Tourismus	274
13.4	Recht	279
<b>14</b>	<b>Anhang</b>	<b>283</b>
14.1	Teilnehmerliste Workshop	283
14.2	Karten	284

# 1 EINLEITUNG

---

## 1.1 Hintergrund

Veränderungen des Klimas wirken sich auf Schnee und Eis der Erde und ihre Rolle im Wasserkreislauf stark aus (UNEP, 2007). Dies gilt besonders auch für kalte Gebirgsregionen (Watson & Haeberli, 2004). Der Schwund der Gebirgsgletscher ist ein weltweites Phänomen und läuft mit zunehmender Geschwindigkeit ab (WGMS, 2008). Dies ist eine Folge des globalen Temperaturanstiegs, der wiederum immer stärker durch Einflüsse des Menschen (Aerosole, Treibhausgase) auf den Strahlungshaushalt der Erde gesteuert wird (IPCC, 2007). Die Gletscher der Alpen verlieren gegenwärtig jährlich 2 bis 3 % ihres Volumens (Haeberli et al., 2007). Die Intensität der Schmelzprozesse führt dabei zunehmend zu Zerfallerscheinungen des Eises (Paul et al., 2007).

Rund drei Viertel der Gletscherfläche, die noch am Ende des 20. Jahrhunderts in den Alpen existierte, könnten bereits in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts verschwinden (Zemp et al., 2006). Modellrechnungen verschiedener Komplexität ergeben übereinstimmend, dass auch grosse Gletscher bei realistischen Szenarien weiterer Erwärmung in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts bis auf kleine Reste verschwinden dürften (Haeberli & Hoelzle, 1995; Huss et al., 2008; Huss et al., 2010; Juvet et al., 2011; Oerlemans et al., 1998). Als Folge der Gletscherschmelze bilden sich auf den Gletschern (supraglazial, s) sowie in den Übertiefungen ihrer freigelegten Betten (proglazial, p) Seen, welche den Eiszerfall ihrerseits beschleunigen. Jüngste Beispiele sind der „Gletschersee“ (s) beim unteren Grindelwaldgletscher, BE (Werder et al., 2010), der See (p) am Triftgletscher, BE (Dalban Canassy et al., 2011), der See (p) an der Zunge des Rhonegletschers (VS), der Lago Effimero (s) in Italien (Ghiacciaio del Belvedere, Käab et al., 2004), der Lac de Rochemelon (s) in Frankreich (Vincent et al., 2010) oder die Seen (s) auf dem Glacier de la Plaine Morte (BE). GIS-basierte Simulationen lassen vermuten, dass als Folge des



fortgesetzten Gletscherschwundes innerhalb der nächsten Jahrzehnte zahlreiche neue Seen entstehen werden (Frey et al., 2010).

Die entstehenden Seen eröffnen neue Nutzungspotenziale (Stauhaltungen, Sediment-Retention) für die Energiewirtschaft. Entsprechende Möglichkeiten müssen vor allem im Zusammenhang mit der wachsenden Bedeutung kurzfristig abrufbarer Energie aus hochalpinen Speichern für die Abdeckung kurzfristiger Spitzen im komplexen europäischen Verbundnetz berücksichtigt werden und dürften bei der anstehenden Neukonzessionierung bestehender Anlagen eine Rolle spielen. Neue Seen im Hochgebirge sind auch für den Tourismus interessant, da sie einen Teil der schwindenden Attraktivität vergletschter Gebirgslandschaften kompensieren können. Sie stellen allerdings auch ein beträchtliches Gefahrenpotenzial dar, da sie sich in einer Gebirgslandschaft zunehmender Ungleichgewichte und abnehmender Stabilität bilden (Haeberli & Hohmann, 2008, vgl. dazu Haeberli et al., 2010). Als Folge des durch den Gletscherschwund reduzierten Eis-Gegendrucks und der verbreiteten Permafrost-Degradation in steilen Bergflanken muss auch die Möglichkeit grossvolumiger Sturzereignisse in Seen mit weit reichender Flutwellenbildung beachtet werden. Die Wahrscheinlichkeit solch potenzieller Katastrophen mag klein erscheinen, nimmt aber mit wachsender Anzahl neuer Seen und weiter schwindendem Eis in Steiflanken zu.

Die Forderung nach nachhaltiger Nutzung neuer Seen als Elemente des sich zukünftig wahrscheinlich rasch und stark verändernden Wasserkreislaufs im Gebirge und seinem Umland wirft schwierige Fragen auf. Wem gehören diese Seen, wer darf sie nutzen, wer ist für sie verantwortlich? Können Konfliktpotenziale rechtzeitig erkannt und konstruktiv behandelt werden? Können die Anliegen der Energiewirtschaft, des Tourismus und der Naturgefahren-Prävention durch Mehrzweck-Anlagen optimal abgedeckt werden? Wie weit will und kann man sich auf erkennbare Risiken seltener Grosskatastrophen ausrichten? Haben die neuen Seen eine Bedeutung für die Restwassermengen in Flüssen, wenn zeitlich vorverlegte Schneeschmelze und ausbleibende Gletscherschmelze im wahrscheinlich zunehmend trockenen Hoch- und Spätsommer zu Problemen mit anhaltenden Niedrigwassern im Unterland führen? Wie steht es mit dem Schutz von charakteristischen Hochgebirgslandschaften, die sich jenseits des Einflusses regionaler und nationaler Behörden aufgrund globaler Vorgänge dramatisch und langfristig verändern?

## 1.2 Ziele

Das Projekt NELAK des Nationalen Forschungsprogramms 61 versucht, in interdisziplinärer Zusammenarbeit und in engem Kontakt mit Institutionen der Politik, der Privatwirtschaft sowie mit betroffenen NGOs eine Wissensbasis hinsichtlich neuer Seen im Hochgebirge zu erarbeiten, die für die zukünftige Planung als Entscheidungsgrundlage dienen kann. Es geht dabei primär darum, vorhandenes Verständnis und bereits existierende Informationen in geeigneter Weise für das Thema zu kombinieren. Entscheidende Vorarbeit dazu wurde im Nationalen Forschungsprogramm 48 „Landschaften und Lebensräume der Alpen“ und im Forschungsprogramm „Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung“ (SGHL & CHy, 2011) geleistet. Die Aufgabe wird angepackt im Bewusstsein, dass die beschleunigende Veränderung hochkomplexer natürlicher und sozioökonomischer Systeme die Zeit für offenen Diskurs zu strittigen Fragen immer knapper, die sorgfältige Abwägung von Projektierungen bei wachsender Unsicherheit immer schwieriger und die Freiheitsgrade für Entscheidungen bei kumulativen Stresskombinationen immer weniger werden lässt. Der Schwerpunkt der behandelten Aspekte liegt bei (a) der Entstehung in Raum und Zeit sowie der Charakteristik der neuen Seen, (b) der Abschätzung der von diesen Seen ausgehenden Gefahrenpotenziale, (c) den Nutzungspotenzialen für die Energiewirtschaft, (d) den touristischen Perspektiven und (e) den rechtlichen Fragen nach Nutzung, Verantwortung und Schutz. Ein gesamtschweizerischer Überblick soll dabei mit vertieften Analysen in Fallstudien kombiniert werden. Empfehlungen basieren auf der am Schluss zu erstellenden Synthese des gesammelten und gemeinsam reflektierten Materials. Über diese Zusammenschau hinaus wird in einem dreijährigen Forschungsprojekt das Problem der Risiken durch Fels- und Eisstürze in Seen untersucht (Schaub et al., in press). Darin werden Antworten zu folgenden Fragen erarbeitet: (a) Von welchen aktuellen und zukünftigen Hochgebirgsseen der Schweizer Alpen sind, relativ gesehen, die grössten Risiken zu erwarten? (b) Wie kann im Hinblick auf die Erstellung von detaillierten Intensitätskarten für einen Einzelfall die Interaktion der beteiligten Prozesse (Felssturz, Wellenausbreitung, Dammbruch, Flutwelle) bestmöglich abgeschätzt/modelliert werden? Diese Abklärungen sind nicht Teil des vorliegenden Berichtes, sondern werden voraussichtlich Ende 2013 publiziert werden.

## 1.3 Einbezug von Natur & Landschaft

Gletscher und ihre Vorfelder gehören zu den letzten naturnahen und einigermaßen unberührten Landschaften der Schweiz und verfügen über einen unbestrittenen Eigenwert von hoher Bedeutung. Daneben kommt den Gletschervorfeldern ein hoher ökologischer Wert zu, und sie sind u.a. wichtiger Bestandteil des Gewässersystems. Die Bedeutung von Natur und Landschaft für den Tourismus findet sich in Kap. 5. In Kapitel 6.3 werden Natur und Landschaft sowie deren Schutz aus rechtlicher Sicht behandelt. In allen Fallstudien wird auf die betroffenen nationalen Schutzperimeter hingewiesen. In den Übersichtskarten (Anhang) sind zudem die Perimeter des Bundesinventars der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN) ersichtlich. Die Ökologie von Gletschervorfeldern aus naturwissenschaftlichen Gesichtspunkten ist hingegen nicht Bestandteil dieser Arbeit. Ebenso wurde bisher der Einfluss der neuen Seen auf die Abflussverhältnisse weiter unten im Tal und deren Auswirkungen auf die Landwirtschaft und die Wasserversorgung noch nicht untersucht. Auch der Einfluss der neuen Seen auf den Geschiebehaushalt des sich verändernden hochalpinen Gewässernetzes und die Entwicklung der neu entstehenden limnologischen Bedingungen und aquatischen Ökosysteme stellen wissenschaftliche Studienobjekte dar. Für die hydrologische Erforschung der neu entstehenden Seen eröffnet sich ein weites Feld interessanter und innovativer Messungen und Modellierungen.

## 1.4 Verwendete Klimaszenarien

Das NFP 61 stellt den einzelnen Forschungsgruppen grundsätzlich frei, welche Klimaszenarien und -modelle verwendet werden, es gibt jedoch einen intensiven Kontakt mit dem Center for Climate Systems Modeling C2SM der ETH Zürich. Vom C2SM werden verschiedene Klimamodelle aus dem EU-Projekt ENSEMBLES zur Verfügung gestellt. In diesem Projekt wurde eine grosse Anzahl von koordinierten Modellläufen mit Regional Climate Models (RCM) erstellt, mit einer räumlichen Auflösung von 25 bis 50 km (van der Linden & Mitchell, 2009). Die RCM's werden jeweils mit verschiedenen Global Circulation Models (GCM) angetrieben, mit dem Emissionsszenario A1B (Nakicenovic & Swart, 2000).

Das C2SM stellt zehn verschiedene RCM-GCM-Kombinationen zur Verfügung. Für dieses Projekt wurde in einer ersten Phase das RCM-CLM, angetrieben mit dem GCM HadCM3Q0, verwendet. Das C2SM bereitet die Klimamodelldaten mit einer sogenannten Delta-Change-Methode auf. Dabei werden die relativen Veränderungen in den verschiedenen Klimavariablen (z.B. Temperatur) zwischen einer

Kontrollperiode (1980–2009) und der Zukunft (2021–2050 und 2070–2099) berechnet und dann auf die Daten der Kontrollperiode addiert. Dadurch können zwar gewisse Unsicherheiten in den Modellrechnungen etwas reduziert werden, aber eine mögliche in der Zukunft veränderte Klimavariabilität (inter- und intra-annuell) geht weitgehend verloren. Die RCM-Modelldaten werden für eine grosse Anzahl Klimastationen in der Schweiz zur Verfügung gestellt. In diesem Projekt werden entsprechend die den Untersuchungsgebieten am nächsten liegenden Klimastationen berücksichtigt.

Zusätzlich zu den RCM-Daten werden hier auch noch einfachere Klimaszenarien verwendet. Es handelt sich dabei um lineare oder stufenweise ausgeprägte Temperaturanstiege, also z.B. ein linearer Anstieg von 4° C über den Verlauf des 21. Jahrhunderts. Die Klimaszenarien werden vor allem in den glaziologischen Berechnungen des Gletscherrückzugs und der Seenbildung sowie in den Abflusssszenarien verwendet. Auch im touristischen Teil ist es angezeigt, mit einfachen Temperaturanstiegsszenarien zu arbeiten.

## 1.5 Einbezug von Stakeholdern

Die Chancen und Risiken von neuen Gletscherseen wurden im August 2011 an einem halbtägigen Workshop mit ungefähr 30 Experten aus den Bereichen Naturgefahren, Umwelt, Energie und Tourismus diskutiert und beurteilt. Vor dem Workshop wurde den Teilnehmenden eine Zwischenfassung dieser Studie zugestellt. Vertreten waren betroffene Gemeinden, Amtsstellen von Bund und Kantonen, Verbände, Universitäten und private Unternehmen (Teilnehmerliste im Anhang). Die Thematik der neuen Gletscherseen ist für die berufliche Tätigkeit der meisten Teilnehmenden relevant (Fig. 1). Die Relevanz dürfte mit der Entstehung weiterer Seen in den nächsten Jahren und Jahrzehnten zunehmen.

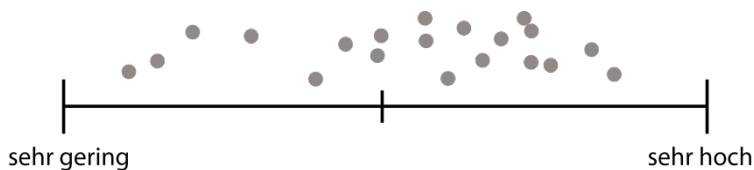


Fig. 1: Relevanz der neuen Gletscherseen für die Arbeit der Teilnehmenden des Workshops.

Die Expertengruppe zeigte sich uneinig, ob Chancen oder Risiken der neuen Seen überwiegen (Fig. 2). Das Nutzungspotenzial für die Wasserkraft dürfte beispielsweise zunehmen, andererseits sei auch mit Verlandungsproblemen von bestehenden

Stauseen zu rechnen. Die Mehrheit der Teilnehmenden erwartet mögliche Interessenskonflikte hinsichtlich einer umweltverträglichen Nutzung der neuen Seen. Wie sich der Gletscherschwund und die Entstehung neuer Seen auf die Landschaft und den Tourismus auswirken, wurde unterschiedlich beurteilt. Einigkeit herrschte dagegen bei der Auffassung, dass ein Potenzial für neue Extremereignisse (z.B. grosser Felssturz in See mit anschliessendem Ausbruch) bestehe und bei einem unkontrollierten Ausbruch mit hohen Folgekosten gerechnet werden müsse. Die frühzeitige Planung von Schutzmassnahmen erscheint daher als wichtig und den grössten Handlungsbedarf sehen die Experten folglich bei der Umsetzung eines integralen Risikomanagements. Je früher die Thematik angegangen wird und die Optionen geprüft werden, desto eher überwiegen die Chancen.

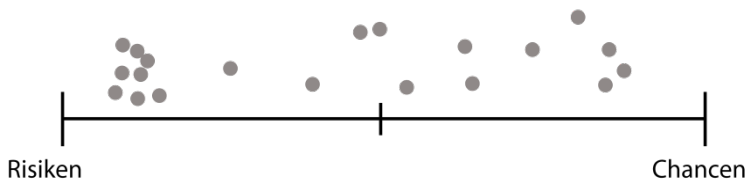


Fig. 2: Einschätzung der Teilnehmenden des Workshops, ob in ihrer Arbeit die Chancen oder Risiken hinsichtlich neuer Gletscherseen überwiegen.

Die vorliegende Studie wurde soweit möglich um die Ergebnisse des Workshops ergänzt und den Experten nochmals vorgelegt. An dieser Stelle bedankt sich das Autorenteam herzlich bei den Teilnehmenden des Workshops. Spezieller Dank gebührt zudem allen, die durch ihre schriftlichen Kommentare und Ergänzungen zusätzlich zum Gelingen dieser Studie beigetragen haben.

## 1.6 Aufbau

Das nächste Kapitel behandelt die Modellierung der Übertiefungen an den Gletscherbetten und die Unsicherheiten hinsichtlich der Seenentstehung. Karten der modellierten potenziellen Seen finden sich im Anhang. Während Kapitel 3 Gefahren durch Gletscherseen thematisiert, werden anschliessend die Chancen und Risiken für Wasserkraft (Kapitel 4) und Tourismus (Kapitel 5) aufgezeigt. Rechtliche Aspekte und mögliche Konflikte werden in Kapitel 6 behandelt. Kapitel 7 illustriert die Thematik in sechs Fallbeispielen. Während die Fallbeispiele kurz gehalten sind, werden die Gletscherseen in den Regionen Grindelwald (Kapitel 8), Mauvoisin (Kapitel 9), Oberengadin (Kapitel 10) und Oberhasli (Kapitel 11) detaillierter untersucht. In diesen vier Fallstudien werden alle Aspekte dieser Studie (Naturgefahr-

ren, Wasserkraft, Tourismus, Recht) erörtert, wobei die Schwerpunkte mit der Fallstudie variieren. Aus den gewonnenen Erkenntnissen werden schliesslich Empfehlungen für die betroffenen Stakeholder abgeleitet (Kapitel 12).



## 2 POTENZIELLE SEEN

---

### 2.1 Methode

In den letzten Jahren wurden Methoden entwickelt, die es erlauben, die Eisdicken der Gletscher über grössere Regionen detailliert abzuschätzen (Haeberli et al., 2012). Im Prinzip basieren die verwendeten Ansätze auf einer vereinfachten Inversion des Eis-Fliessgesetzes (Spannung als Funktion von Massenumsatz und Fliesen). Dabei werden die über Oberflächenprozesse geschätzten Massenflüsse (Farinotti et al., 2009) oder empirische Schubspannungswerte als Funktion des durch die Höhererstreckung des Gletschers beeinflussten Massenumsatzes verwendet (Linsbauer et al., 2009). Vergleiche mit Eisdickenwerten aus Radarprofilen zeigen, dass die absoluten Werte der so geschätzten Eisdicken mit Unsicherheiten von rund  $\pm 20\text{--}30\%$  behaftet sind, weil die Komponenten des Gletscherfließens (Eisdeformation und basales Gleiten) nicht realistisch quantifiziert werden können (Linsbauer et al., 2012). Diese Unschärfe der Eisdickenschätzungen ist grundsätzlicher Art und kann für Gletscher ohne Messungen deshalb nicht leicht reduziert werden. Die berechneten räumlichen Muster von Eisdicken und entsprechenden Gletscherbett-Topographien sind jedoch primär über die basalen Schubspannungen mit der in den Geländemodellen enthaltenen Oberflächenneigung verknüpft und daher robust. Unterschiede zwischen verschiedenen Modellansätzen widerspiegeln primär Glättungseffekte. Hinsichtlich der hier im Vordergrund stehenden Übertiefungen können zur qualitativen Plausibilitätsabschätzung auch morphologische Kriterien (Veränderungen der Oberflächenneigung, Gletscherbreite und Spaltendichte) beigezogen werden (Frey et al., 2009, 2010). In dieser Arbeit kam der GIS-basierte Ansatz von Linsbauer et al. (2009) zur Anwendung, welcher basierend auf der Schubspannung und der Neigung eines Gletschers annäherungsweise dessen Eismächtigkeit abschätzt (Paterson, 1994). Die einzigen notwendigen Inputdaten sind die Gletscherumrisse, ein Set von Fliesslinien pro Gletscher sowie ein digitales Höhenmodell. Die durchschnittliche Schubspannung pro Gletscher wird aufgrund der vertikalen Gletscherausdehnung abgeschätzt (Haeberli & Hoelzle, 1995). Da



die lokalen Eisdicken primär von der Neigung der Gletscheroberfläche abhängen, wird diese entlang der Fliesslinien pro Höhensektor mit 50 m Äquidistanz abgeschätzt. Anschliessend wird die Eisdickenverteilung interpoliert, wobei parabel-förmige Gletscherquerprofile angenommen werden. Mittels Subtraktion der Eisdickenverteilung von einem digitalen Höhenmodell lässt sich schliesslich die Topographie der Gletscherbetten ermitteln. Die Übertiefungen innerhalb der Gletscherbetten können als potenzielle künftige Seen betrachtet werden (Frey et al., 2009). Fig. 4 zeigt die modellierten Übertiefungen im Bereich des Stausees Mauvoisin. Im Anhang finden sich Übersichtskarten aller modellierten Übertiefungen. Diese Karten geben wahrscheinlich eher eine Maximalvariante für die zu erwartende Seebildung wieder. Der Vergleich von qualitativen und quantitativen Schätzmethode(n) (Frey et al., 2009, 2010) zeigt vor allem bei den kleineren Seen Unsicherheiten. Eine Studie über bereits existierende Seen und deren Vorhersagbarkeit aufgrund alter Karten wird derzeit als Masterarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich durchgeführt. Mit der zunehmenden Verfügbarkeit von helikopter-gestützten Radardaten dürfte sich die Sicherheit von Modellresultaten in Zukunft noch verbessern. Eindeutigste Information erhält man mit aufwendigen Heisswasserbohrungen kombiniert mit Gletscherbett-Geoelektrik (Haeberli & Fisch, 1984).

## 2.2 Anzahl und Dimensionen

Gemäss Linsbauer et al. (2012) gibt es in den Gletscherbetten der Schweizer Alpen über 500 Übertiefungen (~ potenzielle Seen) mit einer Fläche grösser als eine Hektare. Die beiden grössten liegen im Bereich des Aletschgletschers und haben eine Fläche von je ca. 200 ha (= 2 km<sup>2</sup>). Die Gesamtfläche aller Übertiefungen beträgt zwischen 50 und 60 km<sup>2</sup>, was etwa der Fläche des Thunersees entspricht. Die grössten Durchschnittstiefen liegen bei knapp 100 m, die meisten modellierten Übertiefungen sind jedoch im Schnitt weniger als 50 m tief (Fig. 3). Rund ein Drittel aller Übertiefungen weist ein Volumen von über 1 Mio. m<sup>3</sup> auf. Etwa 40 Übertiefungen haben ein Volumen von über 10 Mio. m<sup>3</sup>. Volumen von über 50 Mio. m<sup>3</sup> sind bei den folgenden Gletschern zu erwarten: Grosser Aletschgletscher, Gornergletscher, Otemmagletscher, Glacier de Corbassière, Gauligletscher und Glacier de la Plaine Morte. Hier dürften dereinst die grössten Seen entstehen. Der Glacier de la Plaine Morte liegt allerdings in Karstgelände, was eine Seebildung auf Dauer verhindern könnte. Das Gesamtvolumen der Übertiefungen in den Gletscherbetten liegt bei etwa 2 km<sup>3</sup> (1 km<sup>3</sup> = 1'000 Mio. m<sup>3</sup>). Würden alle Übertiefungen in den Gletscherbetten vollumfänglich mit Wasser gefüllt, entspräche das Wasservolumen etwa 3 % des Gletschereisvolumens der Schweiz im Jahre 2011. Dieses dürfte bei

ca. 50 bis 65 km<sup>3</sup> liegen, muss jedoch aus Schätzungen für vergangene Jahre abgeleitet werden (Farinotti et al., 2009: 74 km<sup>3</sup> für 1999, 65 km<sup>3</sup> für 2008; Linsbauer et al., 2012: 72 km<sup>3</sup> für 1973, 62 km<sup>3</sup> für 1999).

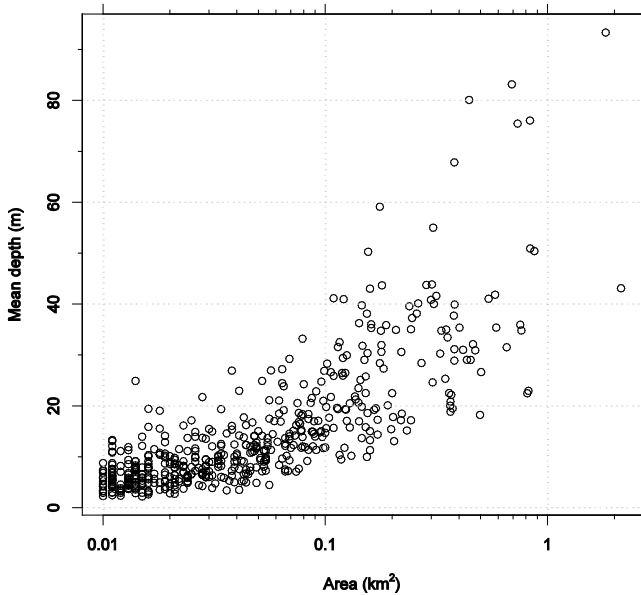


Fig. 3: Fläche und mittlere Tiefe pro potenziellem See. Die maximale mittlere Tiefe liegt bei ca. 90 m (Linsbauer et al., 2012).

## 2.3 Unsicherheiten

Absolute Werte der Gletscherdicken sind mit grossen Unsicherheiten (ca.  $\pm 20 - 30$  % der Schätzwerte) behaftet, da sie auf relativ vagen Annahmen über das Gletscherfliessen beruhen. Für das Relief der Gletscherbetten liefern die bestehenden Modelle jedoch ähnliche Resultate, da die in digitalen Geländemodellen enthaltene Oberflächenneigung entscheidend ist. Die geschätzte (horizontale) Lage und Dimension der Übertiefungen sind deshalb robust. Die glättende Wirkung der Rechenmodelle führt tendenziell eher zu einer Unterschätzung der maximalen Eistiefen. Am Konkordiaplatz (Aletschgletscher), wo mit ca. 900 m die grössten Eismächtigkeiten der Alpen existieren, unterschätzen die Modelle die Eisdicken um ca. 350 m. Die Übertiefungen am Ende der Gletscherzungen müssen mit besonderer Vorsicht interpretiert werden, da es dort zu Modellartefakten wegen der problematischen Neigungsbestimmung (über das Gletscherende hinaus) kommen kann (Paul & Linsbauer, 2012).

Ob aus einer Übertiefung im Gletscherbett tatsächlich ein See entsteht, ist eine weitere Frage. Ein natürlicher Abfluss wie z.B. eine Schlucht im Felsriegel kann die Seenbildung verhindern oder die Seengrösse eingrenzen. Schluchten in Felsriegeln sind selten und nicht einem dominierenden Faktor zuzuschreiben, sondern vielmehr einer Faktorenkombination aus Gesteinseigenschaften und Erosionsprozessen (Humbel, 2011). Wo sich unter dem Eis (subglazial) Schluchten befinden, ist daher bestenfalls vage abschätzbar. Neben natürlichen Abflüssen kann die Ablagerung von Sedimenten die Seenbildung begrenzen bzw. verhindern (siehe auch Kap. 2.5). Es ist grundsätzlich davon auszugehen, dass die Wahrscheinlichkeit einer Seebildung mit zunehmendem Volumen der Übertiefung steigt. Seen können auch ausserhalb von Gletscherbettübertiefungen entstehen und z.B. durch Moränen, Eis oder Erdrutsche aufgestaut werden (z.B. Costa & Schuster, 1988). Diese Prozesse werden hier nicht weiter behandelt.

## 2.4 Entstehungszeitraum

Um die zur Verfügung stehende Planungszeit abzuschätzen, muss der mögliche Entstehungszeitraum der neuen Seen plausibel eingegrenzt werden. Damit verbunden ist eine ganze Kette von Unsicherheiten hinsichtlich der natürlichen Klimaschwankungen, der zukünftigen Treibhausgasemissionen, der Reaktion des Klimas auf veränderte Treibhausgaskonzentrationen und der Reaktion der Gletscher auf sich verändernde Klimabedingungen. Vereinfacht werden oft Temperatureffekte für die Entwicklung der Gletschermasse betrachtet (z.B. Oerlemans, 2001; Oerlemans, 2005). Da die Lufttemperatur tatsächlich alle Faktoren der Energie- und Massenbilanz – über die Schnee- und Regengrenze auch die Akkumulation – beeinflusst (Ohmura, 2001), liefern solche Näherungen erster Ordnung bereits entscheidende Information. Bei einem Temperaturanstieg von mehreren °C spielen beispielsweise Veränderungen des Niederschlags nur noch eine untergeordnete Rolle (Fig. 5, Zemp et al., 2006).

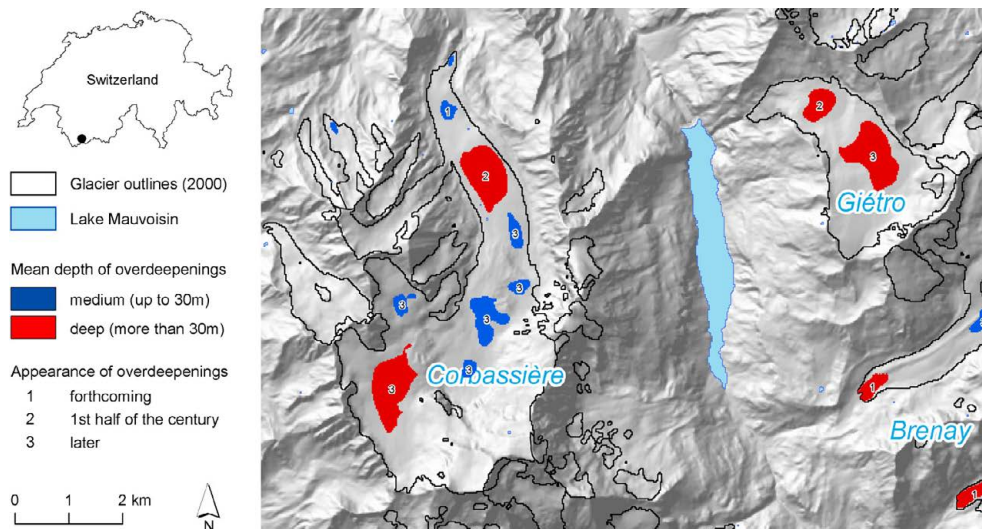


Fig. 4: Modellierte Übertiefungen in den Gletscherbetten rund um den Lac de Mauvoisin. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA110005).

Die Reaktion von Gletschern unterschiedlicher Geometrie und Dynamik auf langfristig steigende Temperaturen in der Atmosphäre können mit Rechenmodellen unterschiedlicher Komplexität behandelt werden. Im Zusammenhang mit den neuen Seen stehen Konzepte im Vordergrund, die die Gesamtheit aller Gletscher eines Einzugsgebietes, einer ganzen Region oder ganzer Gebirgsketten realistisch behandeln können. Erstmals wurden solche Abschätzungen für grosse Stichproben von Gletschern mit der Erstellung detaillierter Gletscherinventare (WGMS, 1989) möglich. Eine im Auftrag des United Nations Environment Programme (UNEP) durchgeführte Studie (Haeberli & Hoelzle, 1995) wie auch eine kombinierte Analyse von Inventarinformation, im Feld erhobener Gletscherdaten und digitaler Geländemodelle (Zemp et al., 2006) für die Gesamtheit der Gletscher in den europäischen Alpen zeigten bereits mit grosser Klarheit, dass selbst bei moderaten Szenarien der globalen Erwärmung (z.B. 2° C global und 3–4° C für die Alpen) grosse Teile der Alpenvergletscherung bereits in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts verschwinden und auch die grössten Alpengletscher im Verlauf der zweiten Jahrhunderthälfte bis auf kleine Reste abschmelzen könnten. Die dynamische Anpassungszeit der Gletscher nach (stufenförmig angenommenen) Massenbilanzänderungen wurde als primäre Funktion der Oberflächenneigung der Gletscher erkannt und für die Alpengletscher im typischen Zeitbereich von einigen Jahrzehnten definiert (Haeberli & Hoelzle, 1995; vgl. dazu auch Lüthi et al., 2010).

Die ersten Analysen für alle Gletscher der Alpen verwendeten einfache Gleichgewichtsansätze für stufenförmige Klimaänderungen. Die daraus resultierenden Abschätzungen sind sinnvoll für Zeitintervalle von mindestens mehreren Jahrzehnten, wie sie den charakteristischen dynamischen Anpassungszeiten der betrachteten Gebirgsgletscher entsprechen. Ausgehend von den 1970er-Jahren, während denen die Gletscherinventare der Alpenländer erstellt worden waren, rechnete die erwähnte UNEP-Studie (Haeberli & Hoelzle, 1995) Szenarien für die Zeithorizonte 2025 und 2100. Nach einem vergleichbaren Ansatz visualisieren Paul et al., (2007) geometrische Veränderungen aller Gletscher der Schweizer Alpen für vorgegebene Veränderungen der Gleichgewichtslinie („Schneegrenze“). Da solch einfache Gleichgewichtsmodelle das verzögerte Abschmelzen grosser Eismassen vernachlässigen, geben sie für kürzere Zeitabschnitte zu grosse Geschwindigkeiten des Gletscherschwundes (Huss et al., 2010) und damit im Hinblick auf die neuen Seen eine minimale Planungszeit. Vorübergehende Effekte des v.a. durch den Umsatz latenter Wärme verzögerten Eisschwundes können mit zeitabhängigen Fliessmodellen beschrieben werden (z.B. Juvet et al., 2011). Solche Fliessmodelle setzen allerdings eine quantitative Wissensbasis zu Prozessen der Energieflüsse und des Eisfliessens (Deformation, Gleiten) voraus, die in Wirklichkeit nicht existiert. Sie müssen deshalb mit empirischen Daten (vergangene Änderungen, direkte Messungen) an die Realität angepasst werden, was wiederum die Übertragbarkeit in Raum und Zeit – innerhalb einzelner Gletscher wie von Gletscher zu Gletscher, aber auch von der Vergangenheit in die Zukunft – reduziert und die angestrebte Komplexität letztlich wieder auf limitierte Empirie zurückführt.

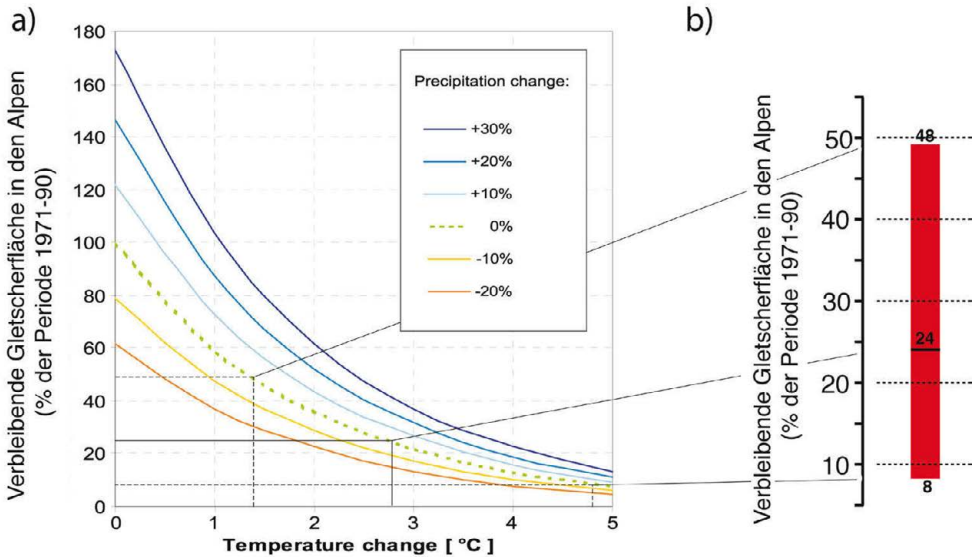


Fig. 5: Gletscherfläche der Alpen (Gleichgewichtszustände) als Funktion von Jahrestemperatur und Jahresniederschlag mit einer Schätzung für das Jahr 2050 (roter Balken) aufgrund von Simulationen mit regionalen Klimamodellen, OcCC (2007) nach Zemp et al. (2006). Je stärker die Erwärmung, desto schwächer wirken sich Niederschlagsänderungen auf die verbleibende Eisfläche aus.

Trotz aller Vorbehalte sind komplexe Fließmodelle als Spiegel des vorhandenen Prozessverständnisses und zur Überprüfung einfacherer Ansätze interessant und nützlich (vgl. dazu die Studie von Huss et al., 2010). In ihrem jetzigen Entwicklungsstand geben sie für die Geschwindigkeit des Eisschwundes allerdings wohl eher eine Untergrenze an, da wichtige Rückkoppelungseffekte und Prozessverknüpfungen (noch) nicht berücksichtigt sind. Die durch Staubeintrag seit 2003 eingetretene massive Reduktion der Albedo an den Oberflächen der Alpengletscher (Oerlemans et al., 2009; Paul et al., 2005) dürfte nachhaltig sein und die Energiebilanz gegenüber Bedingungen der zurückliegenden „Kalibrierungszeit“ vor 2003 für viele Jahre wenn nicht Jahrzehnte stark verändern. Die neuen Seen selber können infolge ihrer niedrigen Albedo und ihrer Fähigkeit zur Erwärmung über 0° C durch effiziente Zirkulationsprozesse und Kalbungsvorgänge am Eisrand die Schwundprozesse drastisch beschleunigen (Funk & Röthlisberger, 1989; Käab & Haeberli, 2001). Wenn der Dickenschwund der Gletscher schneller ist als die Längenänderung durch den Rückzug der Zunge, verstärken sich subglaziale Schmelzprozesse durch Kavernenbildung (Fig. 6) und Eindringen von Warmluft im Sommer, was zu beschleunigendem Einsinken der Oberfläche und zu Kollapserscheinungen (Fig. 7)

des Eises führen kann. Entgegengesetzt – also den Eisschwund verlangsamend – wirkt die bei abnehmender Gletscherfläche tendenziell zunehmende Schuttbedeckung (Jouvet et al., 2011; Zemp et al., 2005). Das Absinken der Gletscheroberfläche führt zu einem Anstieg der Lufttemperatur an der Gletscheroberfläche, kann aber auch den Schattenwurf umliegender Berge verstärken. Die Summe der Effekte muss für jeden Gletscher individuell betrachtet werden, wirkt sich aber insgesamt wohl deutlich beschleunigend auf den Eisschwund aus. Einige neuere Modelle (beispielsweise Huss et al., 2008, 2010; Jouvet et al., 2011) sind zudem mit mittleren Eisdicken und Schubspannungswerten berechnet, die möglicherweise rund 20 % über der Obergrenze plausibler Werte liegen (vgl. dazu Haeberli & Hoelzle, 1995). Eine entsprechende Reduktion der angenommenen Eisdicken würde die berechneten Schwundsszenarien entsprechend stark beschleunigen.



Fig. 6: Kavernenbildung am Morteratschgletscher, GR (J. Alean, 20.2.2009).



Fig. 7: Kollapserscheinung am Steingletscher, BE (E. Peguiron, 2003).

In Anbetracht aller hier aufgelisteten Unsicherheiten wird der Zeitraum der neu entstehenden Seen nicht in Jahreszahlen, sondern in Worten ausgedrückt (vgl. Fig. 4):

- bevorstehend
- in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts
- nach der Jahrhundertmitte

Ausschlaggebend sind dabei die maximalen und minimalen Schwundraten aus den oben geschilderten Modellansätzen. Eine präzisere Eingrenzung muss für die Seen und Gletscher individuell vorgenommen und hinsichtlich möglicher Rückkopplungseffekte diskutiert werden.

## 2.5 Sedimentbilanz

Ob ein Gletscher bei seinem Rückzug ein Fels- oder ein Sedimentbett freilegt, ist für zahlreiche Fragestellungen relevant. Die Charakteristik des Gletscherbettes hat einen Einfluss auf die Seebildung, die Art des Dammes sowie die Gefahr eines Ausbruchs. Auch für hochalpine Stauhaltungen sind Fragen der Sedimentation (Stauvolumen) und der Untergrundcharakteristik (Staustellen) wichtig.

Die Charakteristik des freigelegten Bettes hängt von der Sedimentbilanz des Gletschers ab. Diese ist eine Funktion des Sedimentinputs durch die umliegenden schuttliefernden Felswände und des Sedimentoutputs durch den Gletscherbach. Es handelt sich dabei um Prozesse, die kaum direkt gemessen werden können. Es ist jedoch möglich, die Hauptfaktoren der Sedimentbilanz vergletschter Einzugsgebiete im Hochgebirge in einem Erosions-/Sedimentationsindex zusammenzufassen (Haeberli, 1996, Maisch et al., 1999). Dieser Index vergleicht Faktoren, die den Input steuern mit solchen, die den Output beeinflussen. Er gliedert die Gletscher grob in solche, die Fels erodieren, Sedimentbetten aufbauen oder gemischte Fels- und Sedimentbetten aufweisen.

In der vorliegenden Studie wurde der Index GIS-basiert (Zemp et al., 2005) für alle Schweizer Gletscher berechnet, welche im Jahre 1973 grösser als 0.5 km<sup>2</sup> waren. Fig. 8 zeigt das Resultat für die Region des Lac de Mauvoisin. Augenfällig ist ein Zusammenhang zwischen Gletschergrösse und Sedimentbilanz. Grosse Gletscher tendieren zur Erosion (Felsbett), während kleine eher sedimentieren. Dieser Zusammenhang ist einerseits physikalisch zu erklären, weil bei gleichem Schuttinput die Schuttkonzentration von der Gletschergrösse abhängt, ist andererseits jedoch auch methodisch bedingt (Zemp et al., 2005). Fig. 8 zeigt zusätzlich (qualitativ) den Sedimentinput der umliegenden Felswände (links). Dieser hilft abzuschätzen, wie schnell eine Übertiefung mit Sediment aufgefüllt wird. Grundsätzlich nimmt mit dem Schwund der Gletscher die Tendenz zur Erosion ab und zur Bildung von Moränenbetten eher zu. Letzteres vor allem auch, weil die schuttliefernden Felswände zunehmend eisfrei und damit instabiler werden.



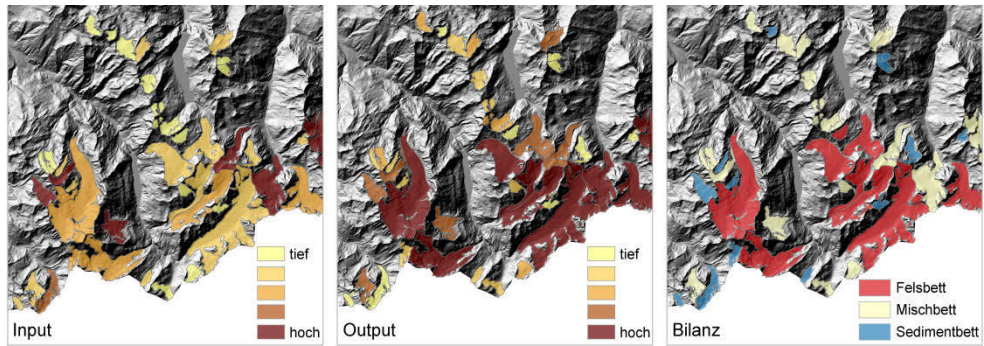


Fig. 8: Sedimentinput (links), Sedimentoutput (Mitte) und Sedimentbilanz (rechts) für die Gletscher in der Region des Lac de Mauvoisin. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA110005).

## 3 NATURGEFAHREN UND RISIKEN

---

### 3.1 Hintergrund

Flutwellen und Murgänge als Folge von Seeausbrüchen können über grosse Distanzen Schäden anrichten. Abflüsse aus solchen Ereignissen können dabei lokal das Ausmass von Niederschlagshochwassern bei Weitem übersteigen und den Charakter von Flutwellen und Murgängen nach Dammbrüchen annehmen, wie sie im Rahmen von Sicherheitsbetrachtungen für künstliche Stauseen in Betracht gezogen werden.

Da der Alpenraum einem grossen Siedlungsdruck unterworfen ist, können sich Bevölkerung und Infrastruktur unweit potenziell gefährlicher Seen befinden. Um entsprechende Gefahrenpotenziale und Risiken abzuschätzen, müssen komplexe Situationen und Prozessketten für Bedingungen weit jenseits des historischen Erfahrungsbereiches in integrativer Art erfasst und nach Möglichkeit quantitativ modelliert werden. In der Schweiz ist zu dieser Problematik eine international anerkannte Wissensbasis erarbeitet worden. Neuere Übersichten dazu geben Haeberli & Burn (2002), Haeberli et al. (2006), Haeberli et al. (2010), Huggel et al. (2004, 2008), Käab et al. (2005, 2005), Korup & Tweed (2007). Ein Problem von wachsender Bedeutung ist die Gefahr von gefährlichen Schwallwellen in Seen als Folge grosser Sturzereignisse aus destabilisierten Hangpartien. Mit dem Eisschwund und dem Anstieg der Temperaturen sind solche Destabilisierungsprozesse verbunden über (a) die Spannungsumverteilung nach abnehmender Stützwirkung durch Gletscher (z.B. Sturz in der Eiger-Ostflanke nach massivem Gletscherschwund) und (b) durch Erwärmung und Eisverlust des Permafrostes (gehäufte rezente Ereignisse; Fischer et al., 2012). Neben der geologischen Beschaffenheit und der Neigung ist der Eisschwund nur *ein* Einfluss in der für längerfristige Hanginstabilitäten im Hochgebirge massgeblichen Faktorenkombination. Er ist jedoch derjenige Faktor, der sich zurzeit am schnellsten ändert. Eine Abschätzung des Gefahrenpotenzials durch einen grossvolumigen Sturz muss deshalb versuchen, kritische Faktorenkombinationen zu definieren. Eine rasch zunehmende wissenschaftliche Literatur

liefert wichtige Grundlagen zu diesem Fragenkomplex (Davies et al., 2001; Fischer et al., 2010; Gruber et al., 2004; Gruber & Haeberli, 2007; Haeberli et al., 1997; Harris et al., 2009; Huggel, 2009). Die komplexen thermischen Bedingungen hochalpiner Gipfel können in entsprechenden Rechenmodellen der Wärmediffusion in ihren wesentlichen Zügen simuliert werden (Noetzli et al., 2007; Noetzli & Gruber, 2009). Mögliche Sturzbahnen können mit GIS-basierten Modellen abgeschätzt werden (Noetzli et al., 2006; Romstad et al., 2009). Auf nationaler Ebene wurde für das Bundesamt für Umwelt (BAFU) eine GIS-basierte Modellrechnung für die Permafrostverbreitung der gesamten Schweizer Alpen durchgeführt (Fig. 9) und die Überprüfung aller existierender und neuer, natürlicher und künstlicher Seen hinsichtlich der Gefahr grossvolumiger Stürze empfohlen (Haeberli & Hohmann, 2008; OcCC, 2007). Auf internationaler Ebene definierte die Working Group on Glacier and Permafrost Hazards in Mountains (GAPHAZ) der International Association of Cryospheric Sciences (IACS/IUGG) und der International Permafrost Association (IPA) grundsätzliche Prinzipien und Standards bei der Behandlung solcher Probleme.

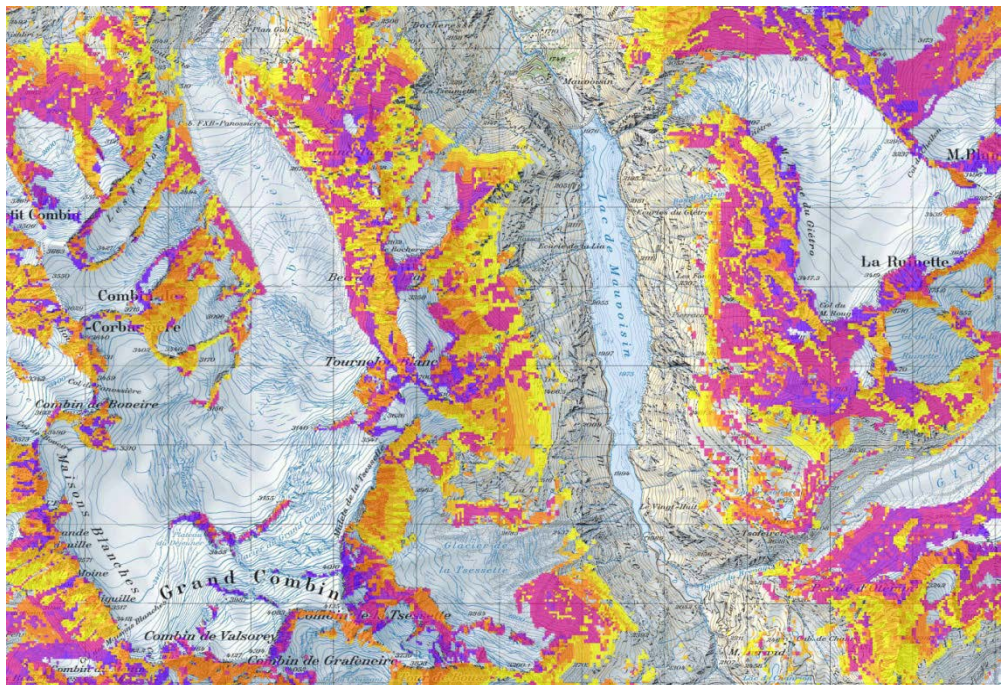


Fig. 9: Modellierte Permafrostverbreitung um den Lac de Mauvoisin. Gelb: Permafrost fleckenhaft möglich, dunkelviolet: Permafrost flächenhaft wahrscheinlich. BAFU (2005). Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA110005).

### 3.2 Risikokzept

In den Neunzigerjahren erfolgte in der Schweiz ein Paradigmenwechsel vom rein technischen Schutz vor Naturgefahren hin zu einem integralen Umgang mit naturbedingten Risiken. 2002 wurde diese Neuorientierung in der von der Nationalen Plattform für Naturgefahren (PLANAT) ausgearbeiteten Strategie Naturgefahren festgeschrieben (PLANAT, 2002). Das Risikokzept ist ein systematisches Verfahren, um ein Risiko hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Naturereignisses (Gefahrenanalyse), der Präsenzwahrscheinlichkeit (Expositionsanalyse) und des Schadensausmasses (Konsequenzenanalyse) zu charakterisieren und zu quantifizieren. Das Risiko hilft den Menschen, Unsicherheiten und Gefahren zu verstehen und damit umzugehen (Zwick, 2006). Zentral ist das integrale Risikomanagement (IRM), das in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen hat. Beispiele können auch aus dem Ausland, etwa aus Österreich (Risknet, 2004) oder Australien (Risknet, 2005), beigezogen werden. Kernpunkt des IRM sind folgende drei Fragen:

- was kann passieren? (Risikoanalyse)
- was darf passieren? (Risikobewertung)
- was ist zu tun? (integrale Massnahmenplanung)

Das Konzept erlaubt, sowohl das Risiko angemessen zu bewerten als auch entsprechende Massnahmen zu priorisieren, zu optimieren und zu evaluieren, die zu einer effektiven Risikoreduktion genutzt werden können (Ammann, 2004). Für die Quantifizierung der Risiken dient folgende Formel als Basis (PLANAT, 2009):

$$R_{i,j} = p_j \times p_{i,j} \times A_i \times v_{i,j}$$

$$R_j = \sum_i R_{i,j}$$

$$R = \sum_j R_j$$

Wobei:

$R$  = kollektives Risiko als Summe über alle Szenarien  $j$  und Objekte  $i$  [CHF/Jahr oder Todesfälle/Jahr].

$p_j$  = Wahrscheinlichkeit des Szenarios  $j$  [-].

$p_{i,j}$  = Wahrscheinlichkeit, dass Objekt  $i$  dem Szenario  $j$  ausgesetzt ist [-].

$A_i$  = Wert des Objektes  $i$  [CHF].

$v_{i,j}$  = Schadenempfindlichkeit (Vulnerabilität) des Objektes  $i$  in Abhängigkeit von Szenario  $j$  [-].

Die Vulnerabilität setzt sich aus physischen und sozialen Faktoren zusammen. Das Risikokzept, wie es in der Schweiz angewandt wird, berücksichtigt vor allem monetäre und quantifizierbare Werte. Nichtmaterielle Aspekte, wie soziale, kulturelle oder armutsbedingte Faktoren (Cutter et al., 2003; Wisner et al., 2004), stellen in der Schweiz keine zentralen Faktoren dar und sind schwierig, um sie in die Risikoanalyse einfließen zu lassen (Hegglin & Huggel, 2008). Für die Schweiz sind diese Themen von Bedeutung für die internationale Zusammenarbeit, zum Beispiel innerhalb der Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (DEZA) oder des Staatssekretariats für Wirtschaft (SECO).

Für die nationale Anwendung des IRM wurden in den letzten Jahren wichtige methodische Werkzeuge entwickelt, darunter RiskPlan 2.0 (BAFU & BABS, 2007), EconoMe (BAFU, 2008) oder RiKo (PLANAT, 2009). Auf Basis dieser Methodik kann das Risiko quantifiziert und anhand von Schutzziele und Risikoaversion bewertet werden. Risikoaversion ist besonders relevant in Bezug auf Gletscherseen, weil Untersuchungen zeigen, dass die Gesellschaft grosse, aber seltene Ereignisse mit schweren Konsequenzen stärker gewichtet als kleine, häufige Ereignisse (EBP, 2001; PLANAT, 2008). Gefahren von Gletscherseen sind schwierig einzuschätzen und zumeist handelt es sich um kleine Eintretenswahrscheinlichkeiten mit aber dramatischen Folgen im Eintretensfall.

Das Risikokzept wurde in der Schweiz bis anhin auf folgende Prozessbereiche angewandt: Lawine, Hochwasser, Murgang, Sturz, spontane Rutschung, permanente Rutschung, Erdbeben, Sturm, Hagel, Hitzewelle (PLANAT, 2009). Für die Thematik der Gletscherseen hat das europäische Forschungsprojekt GLACIORISK (2003) einzelne Aspekte von Gletscherrisiken untersucht, bezog jedoch keine Prozessketten mit ein und stützte sich im entsprechenden „Inventar gefährlicher Gletscher in der Schweiz“ (Raymond et al., 2003) primär auf historische Ereignisse. Aufgrund des Klimawandels bewegen sich die entscheidenden Prozesse im Hochgebirge jedoch zunehmend ausserhalb des historischen Erfahrungsbereiches. Ganz besonders gilt dies für die hier behandelten neuen Seen. Daher ist es fundamental, gegenwärtige und künftige Bedingungen in die Risikobetrachtung mit einzubeziehen. Als Leitlinie für die Risikoabschätzungen kann die folgende Graphik dienen (Fig. 10), die das in der Schweiz praktizierte IRM für die Thematik der Gletscherseen umsetzt:

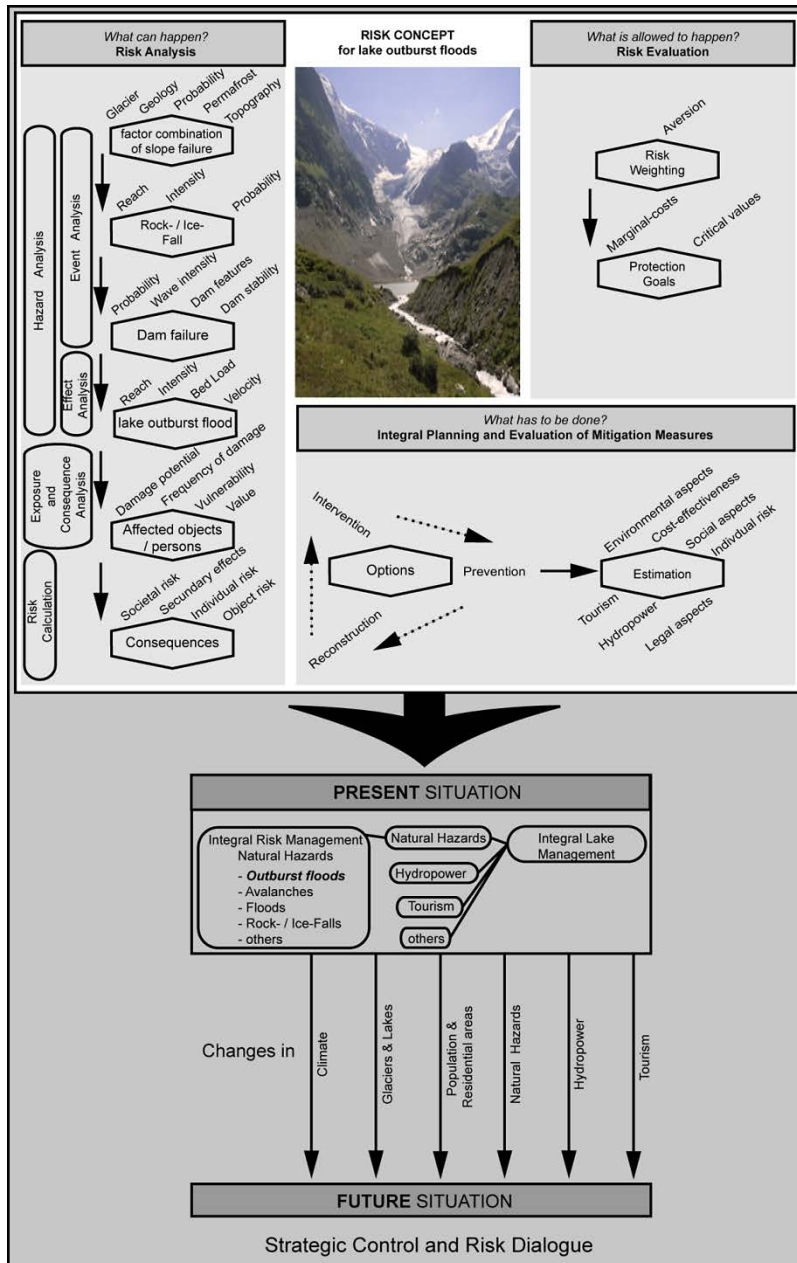


Fig. 10: Die Thematik der Gletscherseen dargestellt anhand des Konzepts des Integralen Risikomanagements (IRM) unter Berücksichtigung der gegenwärtigen und zukünftigen Situation. Ebenfalls ist die Einbettung von Aspekten der Wasserkraftnutzung und des Tourismus gezeigt im Sinne eines integralen Seen-Managements. Darstellung: Y. Schaub.

### 3.3 Gefahrenpotenzial

Flutwellen und Murgänge von Hochgebirgsseen können sich durch verschiedene Kombinationen von Dispositions- und Auslöseprozessen ereignen (Haeberli, 1983, 1992; Haeberli et al., 2010; Huggel et al., 2004). Grundsätzlich können alle Seen in Reichweite von Eis-, Fels- und Bergstürzen oder Moräneninstabilitäten als Folge entsprechender Impulse teilweise oder komplett überschwappen (Carey et al., 2011; Clague & Evans, 2000; Kershaw et al., 2005). Seen mit massiven Gletscherdämmen brechen meist hydraulisch durch Anhebung der Eisbarriere und progressive Erweiterung von Kanälen im oder unter dem Eis aus. Bei Eistrümmerdämmen von Eislawinen mit Wasserrückstau kann es auch zu mechanischem Bruch mit plötzlichen und besonders hohen Abflussspitzen kommen (historisches Grossereignis: Mauvoisin 1818). Kombinationen der beiden Ausbruchsarten sind ebenfalls möglich (vgl. Fallstudie Grindelwald). Die rasche Entleerung von moränengestauten Seen kann durch progressive Erosion infolge Durchströmung (piping), rückschreitende Erosion infolge Überströmung oder durch instabile Steilböschungen ausgelöst werden. Durch Erosion in der Aussenflanke von steilen Moränendämmen können sich Murgänge mit grossem Gefahrenpotenzial bilden (z.B. Seeausbruch am Weingartengletscher in Täsch; Huggel et al., 2003). Im Falle einer Breschenbildung im Moränendamm können enorme Spitzenabflüsse generiert werden; in den Alpen bis gegen  $1'000 \text{ m}^3/\text{s}$ , in anderen Hochgebirgsregionen wie dem Himalaja oder den Anden auch über  $10'000 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Mögliche Ausbruchsmechanismen und entsprechende Gefahrenpotenziale sind Veränderungen in der Zeit unterworfen. Von den grossen Moränen der kühleren nacheiszeitlichen Perioden haben sich die relativ kleinen und deshalb rasch reagierenden Alpengletscher bereits zurückgezogen. Eisdämme dürften in den kommenden Jahrzehnten noch eine wesentliche, wegen des generellen Gletscherschwundes jedoch kleiner werdende Rolle spielen und zudem vor allem lokal bedeutend sein. Das grösste und am weitesten reichende Gefahrenpotenzial ist mit grossen Stürzen in Seen am Fuss von Steilflanken verbunden. Die Wahrscheinlichkeit eines Grossereignisses nimmt mit jedem neuen See im Hochgebirge und für sehr lange Zeiträume (Jahrhunderte) zu. Es wird vor allem auch weiter bestehen, wenn die Gletscher bereits längst verschwunden oder auf kleine Reste zurückgeschmolzen sind. Dies ist der Grund, wieso in der NELAK-Studie primär dieser „Worst-Case“-Gefahrenaspekt für die räumliche Analyse betrachtet wird.

Absolute Ausbruchswahrscheinlichkeiten einzelner Seen anzugeben, ist momentan und wohl auch in absehbarer Zukunft schwierig, da die Unsicherheiten zu gross sind. Es ist jedoch notwendig und möglich, die Seen nach ihrem Gefährlichkeits-



grad zu klassifizieren. Verschiedene Faktoren können bei gegenwärtigen und künftigen Seen unterschieden werden. Faktoren, welche die Anfälligkeit eines Gletschersees hinsichtlich eines Ausbruchs beeinflussen können, sind in Tab. 1 zusammengestellt (Huggel et al., 2004).

Tab. 1: Faktoren zur Beurteilung der Ausbruchsanfälligkeit von Gletscherseen (Huggel et al., 2004).

<b>Faktor</b>	<b>Attribut</b>	<b>Qualitative Ausbruchswahrscheinlichkeit</b>
Dammtyp	Eis Moräne Fels	hoch mittel bis hoch tief
Verhältnis von Freibord zu Dammhöhe	tief mittel hoch	hoch mittel tief
Verhältnis Dammbreite / - höhe	klein, 0.1 bis 0.2 mittel, 0.2 bis 0.5 gross, > 0.5	hoch mittel tief
Flutwellen infolge von Stürzen	häufig / grosses Volumen sporadisch / mittleres Vol. unwahrscheinlich / kleines Vol.	hoch mittel tief
Extreme meteorologische Ereignisse (hohe T, NS)	häufig sporadisch unwahrscheinlich	hoch mittel tief

Die ersten drei Faktoren können bei bestehenden Seen relativ einfach im Feld abgeschätzt werden. Schwieriger hingegen ist eine Wahrscheinlichkeitsabschätzung hinsichtlich Gefährdung durch Stürze. Wie bereits oben ausgeführt, sind Schwund von Gletschereis und Permafrostdegradation im Felsuntergrund die Faktoren mit dem mittelfristig grössten Veränderungspotenzial. Aus einer integrativen Perspektive ist es wichtig, die ganze Kombination von Faktoren zu betrachten und nach Möglichkeit zu bewerten (Tab. 1). Studien haben jedoch gezeigt, dass es schwierig ist, bei einem bestimmten Sturz Dispositions- und Auslösefaktoren (Fig. 11) quantitativ zu bewerten (Fischer et al., 2010). Wenn man Felsstürze im Hochgebirge der letzten Jahrzehnte statistisch analysiert, ist es ähnlich schwierig, klare Muster von Faktoren zu finden, jedoch kristallisieren sich gewisse Hinweise heraus (Fischer et al., 2012). Allerdings sind diese Hinweise statistisch nicht genügend signifikant, um eine aussagekräftige räumliche Analyse und Bewertung der Sturzgefährdung über grössere Gebiete zu erstellen. Verschiedene Daten wie etwa zur Strukturgeologie sind ausserdem nicht in genügender Auflösung über grössere Gebiete vorhanden. Oft wird darum auf äusserst einfache Kriterien zurückgegriffen wie z.B.



die Neigung der Felswände. Solche Studien sind in jüngster Zeit beispielsweise in Norwegen im Zusammenhang mit Tsunamigefahren in Fjorden und Seen durch Felsstürze durchgeführt worden (Romstad et al., 2009).

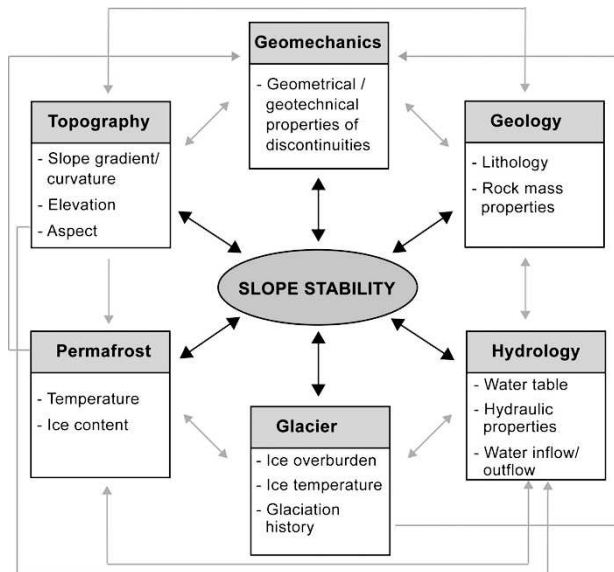


Fig. 11: Faktoren, die die Disposition von Felsstürzen im Hochgebirge beeinflussen und untereinander komplexe Wechselwirkungen haben (Fischer & Huggel, 2008).

Für einen ersten schweizweiten Überblick (Fig. 12) hinsichtlich des Gefahrenpotenzials der neuen Seen wurde nur die Topographie berücksichtigt. Basierend auf empirischen Grenzwerten und einem digitalen Geländemodell mit 25 m horizontaler Auflösung (DHM25 der Swisstopo) wurde für jeden potenziellen neuen See die Fläche berechnet, aus welcher sich Felsstürze lösen und den See erreichen können. Je grösser diese Fläche ist, desto gefährdeter ist der See gegenüber Stürzen (Serraino, 2011). Dabei wurde jeder See einzeln betrachtet und Kaskadeneffekte folglich nicht berücksichtigt (vgl. auch 9.2.2). Auffallend sind die zahlreichen sturzgefährdeten Seen im Bereich Aletschgletscher mit den potenziell gefährdeten Ortschaften Brig und Naters (vgl. Kap. 7.5). Für Einzelbetrachtungen reicht der Einbezug der Topographie als einziger Faktor nicht aus und es müssen weitere Faktoren berücksichtigt werden (siehe oben).

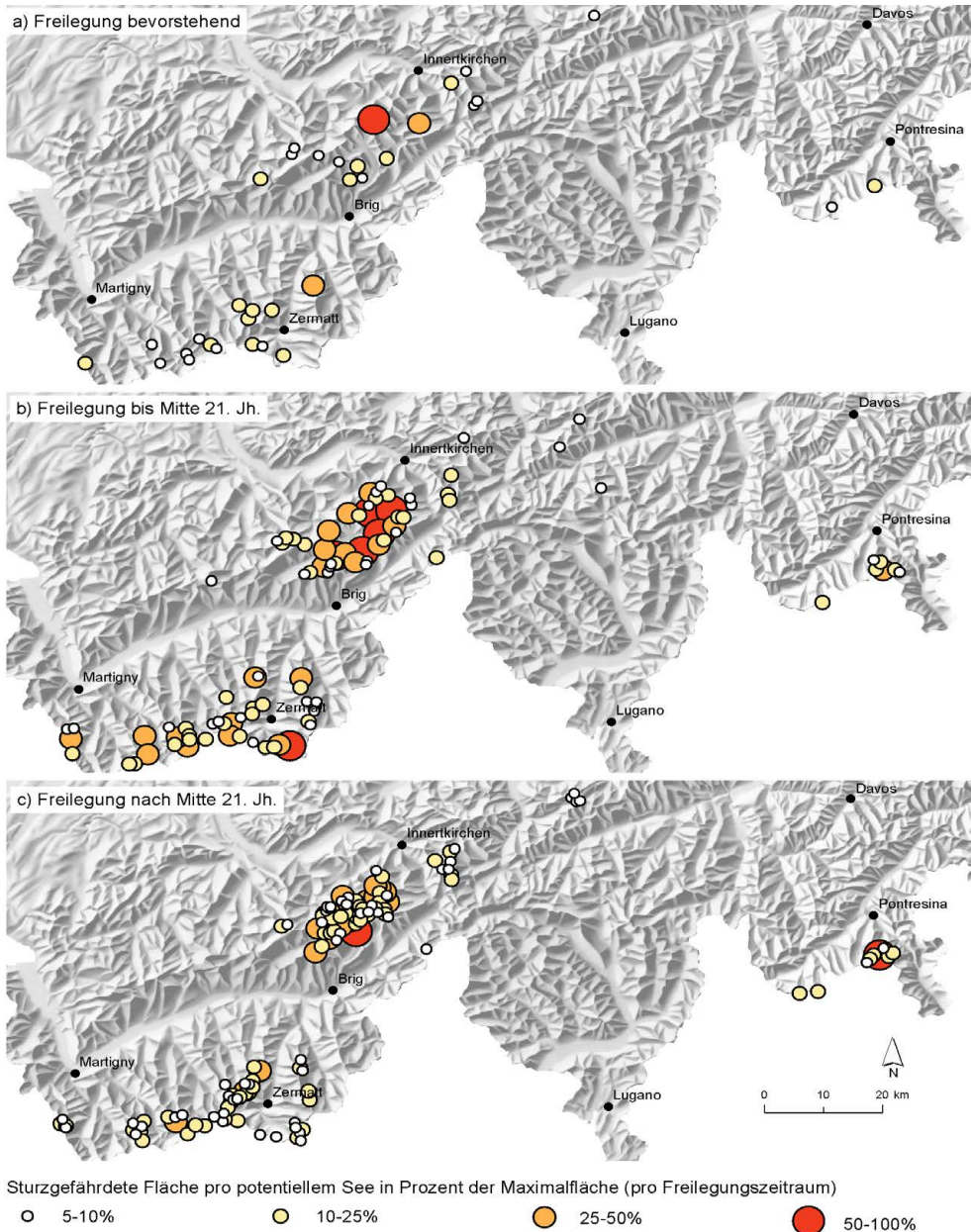


Fig. 12: Sturzgefährdete Fläche pro potenziellem See, ausgedrückt in % der grössten sturzgefährdeten Fläche pro See im betrachteten Zeitraum. Lesebeispiel: Die potenzielle Sturzfläche eines orangen Sees beträgt zwischen 25 und 50 % des Sees mit der grössten Sturzfläche im betrachteten Zeitraum. b) enthält nur jene Seen, mit deren Bildung bis zur Jahrhundertmitte gerechnet wird. c) enthält nur jene Seen, mit deren Bildung in der zweiten Jahrhunderthälfte gerechnet wird. Kaskadeneffekte sind nicht berücksichtigt. Verwendete Grenzwerte:  $30^\circ$  für die Neigung, 0.25 für das Pauschalgefälle (Vertikal- und Horizontalabstand). Daten und Methode: Serraino (2011).

### 3.4 Schadenpotenzial

Für eine grobe erste Ermittlung des Schadenpotenzials können die vektorisierte Landeskarte 1:25'000 VECTOR25 (swisstopo 2007) sowie das eidgenössische Gebäude- und Wohnregister (GWR) herangezogen werden. Das GWR enthält alle Gebäude mit Wohnnutzung der Schweiz. Gebäude ohne Wohnnutzung werden teilweise ebenfalls geführt, doch besteht für solche Gebäude keine Nachführungspflicht durch die Gemeinden. Der Datensatz enthält rund 1.7 Mio. Gebäude und wird laufend weitergeführt (Bundesamt für Statistik, 2009). Dank der mitgeführten Koordinatenangaben können die GWR-Daten in einem GIS verwendet und mit den Daten der Volkszählung 2000 verknüpft werden. Somit ist die Einwohnerzahl von Gebäuden, die 2000 bestanden, für dieses Jahr bekannt. Auch wenn geringfügige Unstimmigkeiten gemäss BFS nicht ausgeschlossen sind, lässt sich somit eine Aussage zur Bevölkerungsanzahl innerhalb eines Gefahrenperimeters machen (Stand 2000). Die Verschneidung von Gefahrenperimeter und VECTOR25 ermöglicht die Ermittlung gefährdeter Infrastruktur wie beispielsweise die Anzahl und Art der Gebäude oder die Länge verschiedener Strassenklassen, Wege und Eisenbahnlinien. Ab 2011 soll eine aktuelle Verknüpfung von Personendaten und GWR vorliegen. Die Daten wurden jedoch erst Ende 2011 publiziert und konnten für diese Studie nicht mehr berücksichtigt werden. Die erwähnten nationalen Datensätze sind eine grosse Hilfe, um die exponierte Infrastruktur und Bevölkerung pro Gletschersee auf nationaler oder regionaler Ebene abzuschätzen. Entscheidend für die Höhe des Schadens ist aber nicht nur der Wert der potenziell gefährdeten Infrastruktur oder die Anzahl der potenziell gefährdeten Personen, sondern vielmehr ihre Vulnerabilität gegenüber dem Gefahrenprozess. Diese hängt einerseits vom Gefahrenprozess selbst, andererseits von den Eigenschaften der gefährdeten Objekte ab und kann anhand der erwähnten Datensätze höchstens annäherungsweise abgeschätzt werden. Eine Hilfe können hier die im Onlinetool *EconoMe* implementierten Vulnerabilitätswerte sein (Bründl et al., 2009).

### 3.5 Prävention

Die Risiken, die von den neuen Seen ausgehen, sind im Prinzip mit bekannten Risiken gravitativer und hydrologischer Gefahren vergleichbar. Hohes Schadenpotenzial bei geringer Eintretenswahrscheinlichkeit, wenig Erfahrung aus historischen Fällen, grosse Geschwindigkeit der Veränderung, geringe Vorwarnzeit oder Bedarf an Früherkennung und Beobachtung gibt es zudem auch bei anderen Klimafolgen, gerade im Hochgebirge. Speziell sind im Fall der neuen Seen die Absehbarkeit der

Entwicklung, die langen Zeiträume der veränderten Gefahrensituation und vor allem auch die komplexe Verbindung mit wirtschaftlichen und landschaftsschützenden Aspekten (v.a. Wasserkraft und Tourismus; vgl. Haeberli et al., 2012, Müller et al., im Druck).

Die Bildung neuer Seen führt dort zu einem neuen Gefahrenpotenzial, wo entsprechende Vulnerabilitäten und Schadenpotenziale vorhanden sind. Besonders zu beachten ist in diesem Zusammenhang die Möglichkeit von Prozessketten mit grosser Reichweite. Der vorliegende Bericht kann dazu nur einzelne Beispiele behandeln und sonst eine erste Übersicht für weitere, gezielte Abklärungen liefern.

Für die Gefahrenprävention steht bereits eine bewährte Palette möglicher Massnahmen zur Verfügung, die mit Erfolg eingesetzt werden können. Diese Palette reicht von der visuellen Beobachtung über die instrumentierte Überwachung (z.B. Projekt InSAR des BAFU), Frühwarnung, den passiven Schutz durch Freihalten oder kurzfristige Evakuierung bis zu baulichen Eingriffen (Überflutungsschutz, Retention). Retentionsmöglichkeiten als langfristige Schutzmassnahme sind im Zusammenhang mit dem Kraftwerksbetrieb besonders interessant, brauchen aber eine ausgedehnte Planungsphase. Speziell komplex sind die Verhältnisse bei supraglazialen Seen (Abflussprozesse, Wasserspiegel-Monitoring etc.).



## 4 POTENTIEL HYDROÉLECTRIQUE

---

### 4.1 Introduction

La force hydraulique est le pilier principal de l’approvisionnement en électricité en Suisse et restera également à l’avenir l’énergie renouvelable la plus importante et efficace. Les apports aux retenues créés par les barrages changent avec le retrait des glaciers. Depuis 30–40 ans, les apports aux retenues ont considérablement augmentés. Grâce au retrait des glaciers, cette tendance persistera pendant les prochaines 10 à 30 années selon le scénario climatique. Ensuite, les apports diminueront fortement avec la disparition progressive des glaciers. Selon la topographie, lorsqu’une dépression est présente sous le glacier en retrait, de nouveaux lacs vont pouvoir se former avec des volumes parfois importants. Ces nouveaux lacs se trouvent plus hauts que les retenues existantes et offrent une chance pour maintenir la production actuelle de la force hydraulique également à l’avenir. Par la construction de nouveaux barrages, le volume de ces lacs naturels peut être augmenté et utilisé pour la production de l’énergie de pointe mais aussi pour le pompage-turbine par la valorisation de l’énergie éolienne et solaire excédentaire. La régulation des eaux des retenues actuelles et futures est de très grande importance pour la gestion des eaux en Suisse, car, après le retrait des glaciers, les retenues doivent reprendre leur fonction de stockage d’eau. Mis à part l’approvisionnement fiable en électricité, les retenues doivent de plus en plus contribuer à l’approvisionnement des cours d’eau pendant de longues périodes sèches ainsi qu’à la protection contre les crues. Les nouveaux lacs créés suite au retrait des glaciers présentent un danger naturel lié à la vidange non contrôlée et abrupte ainsi qu’aux vagues déferlantes formées suite à des glissements de terrain et de grandes masses rocheuses dans ces lacs. Ce danger peut être fortement réduit par le rehaussement de ces lacs naturels en construisant de nouveaux barrages équipés de déversoirs contrôlés et de revanches suffisantes pour résister aux vagues d’impulsion. Dans ce contexte, les nouvelles retenues fonctionneront comme un projet à buts multiples ou projet de synergie. Finalement, ces nouvelles retenues doivent être conçues d’une telle ma-

nière qu'elles puissent maîtriser l'apport accru en sédiments suite au retrait des glaciers par des ouvrages de purges adaptés.

A l'aide de deux cas d'étude, l'évolution des apports avec le changement climatiques et le potentiel hydroélectrique des nouveaux lacs sont analysés et discutés. Tout d'abord, les outils et les données utilisées pour l'étude sont présentés dans ce chapitre. Ensuite, une application détaillée est effectuée sur le bassin versant des Forces Motrices de Mauvoisin (FMM), en Valais (Chapitre 9) et sur le bassin des Forces Motrices de l'Oberhasli (KWO) dans le canton de Berne (Chapitre 11).

## 4.2 Description du modèle hydrologique-hydraulique

L'étude se base sur le logiciel RS3.0 (Jordan et al., 2009). Conçu à l'origine pour la prévision des débits, il permet depuis de nouveaux développements de simuler et d'optimiser la production d'énergie, ainsi que l'évolution de la masse glaciaire.

### 4.2.1 Description générale du logiciel RS3.0

Le logiciel RS3.0 permet la simulation des écoulements en nappe libre dans un bassin versant complexe. Il est basé sur les principes et modèles fondamentaux du logiciel Routing System II (Garcia et al., 2007, Jordan, 2007, Jordan et al., 2009), développé au Laboratoire de Constructions Hydrauliques de l'EPFL. Le logiciel RS3.0 se compose d'une base de données propriétaire, d'un moteur de calcul, ainsi que d'un pilote automatique permettant l'exploitation de systèmes de prévision de débit en temps-réel. Enfin, des interfaces de visualisation des résultats sous forme SIG sont également développés dans ce cadre. Le modèle de calcul repose sur une approche pluie-débit conceptuelle semi-distribuée.

La région à modéliser est tout d'abord découpée en bassins versants. Les exutoires des bassins versants sont choisis en fonction de points particuliers, tels que lacs et retenues, prises d'eau en rivière, jonctions de cours d'eau, station de mesure de débit, point particulier où une information est nécessaire. La simulation des bassins versants est effectuée par le modèle conceptuel GSM-SOCONT (Jordan, 2007 ; Schäfli et al., 2005), étendu pour intégrer la dynamique glaciaire (Terrier et al., 2011).

Dans les bassins versants, des bandes d'altitude permettent de mieux tenir compte des effets liés à la température, tels que la séparation pluie-neige, la constitution et la fonte du stock de neige, ainsi que la fonte des glaciers. Elles permettent également d'intégrer la variation des précipitations avec l'altitude. Habituellement, le

découpage est effectué à l'aide de bandes de 300 m. Une bande d'altitude non-glaciaire comprend les objets suivants:

- Une station virtuelle qui effectue le lien avec la base de données ainsi que le calcul de spatialisation pour alimenter le modèle avec les données météorologiques (Fig. 13a);
- Un réservoir neige qui accumule le stock de neige et le transforme en débit par une loi de fonte dépendant de la température (Fig. 13b);
- Un réservoir sol GR3 qui intègre les infiltrations de surface et les écoulements souterrains (Fig. 13c). Cet objet représente l'influence des nappes phréatiques et leurs écoulements;
- Un plan d'écoulement pour modéliser le ruissellement de surface lorsque l'infiltration est réduite à cause de la saturation du sol (Fig. 13d);
- Une jonction pour réunir l'ensemble des contributions à l'aval du bassin versant (Fig. 13f).



Fig. 13: Principaux objets du logiciel RS3.0.

Dans les bandes glaciaires du bassin versant, le réservoir sol et le ruissellement de surface sont remplacés par un objet glacier (Fig. 13e) qui permet de représenter la transformation de la glace en débit (fonte glaciaire) ainsi que le comportement de la couche de neige sur le glacier (fonte nivale et/ou transformation de la neige en glace).

La Fig. 14 présente une bande glaciaire et une bande non glaciaire, ainsi que l'interaction entre les différents objets du modèle. La météorologie (en rouge) est intégrée dans le modèle à l'aide de deux entrées, soit la précipitation (P) et la température (T). L'évapotranspiration (ETP) est calculée à l'aide de la formule de Turc en intégrant la température de la bande concernée au pas de temps horaire. Le fonctionnement détaillé des objets et leurs équations peuvent être trouvés dans Garcia et al. (2007).



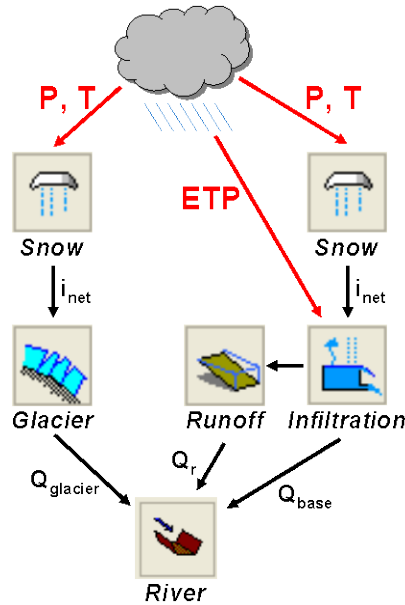


Fig. 14: Objets dans une bande d'altitude glaciaire (à gauche) et non-glaciaire (à droite).

#### 4.2.2 Modèle glaciaire avec calcul du bilan de masse

De nouveaux développements ont été apportés au modèle glaciaire de RS3.0 pour simuler l'évolution des glaciers à long terme.

La priorité du modèle est de simuler le plus fidèlement possible le débit produit par la fonte de glace. Considérant cet objectif, les principales caractéristiques d'une bande glaciaire sont sa surface, dont la fonte est proportionnelle, et sa hauteur qui permet de définir un volume. La modélisation considère donc un glacier comme un parallélépipède rectangle.

Le fonctionnement de l'objet glacier est résumé à la Fig. 15. Les différentes interactions avec les autres objets sont:

- La transformation de la neige en glace  $V_{GL}$  dépend de la surface  $S$ , de la hauteur de neige  $H_N$  et d'un paramètre de calibration  $A_{GL,N}$ . Le taux de transformation est linéaire en fonction de la hauteur de la neige sur la glace.
- L'écoulement du glacier est simulé par une transmission de glace d'une bande d'altitude supérieure à une bande d'altitude inférieure ( $V_{in}/V_{down}$ ). Le flux de glace dépend de l'épaisseur ( $h$ ) moyenne des deux bandes de glace, de la largeur ( $L$ ) moyenne des deux bandes et d'un paramètre qui caractérise la vitesse d'avancement moyenne  $U$ .

- La fonte du glacier  $V_{out}$  est calculée à partir de la surface  $S$ , de la température  $T$  et d'un paramètre de calibration de la fonte  $A_{GL}$ .

Un bilan est effectué à chaque pas de temps pour déterminer la variation de volume  $dV$  du glacier. La variation de volume est reportée à la fois sur la hauteur du glacier et sur la surface en considérant que la section de la vallée a une forme de type  $y = x^n$ . Le paramètre  $n$  est spécifié pour chaque bande glaciaire. Toute modification de surface du glacier est reportée avec un signe opposé à la bande non-glaciaire correspondante de manière à conserver la surface totale du bassin versant constante.

Ce modèle glaciaire pragmatique produit des résultats comparables à d'autres modèles puisque à part le choix des scénarios climatiques finalement la paramétrisation des conditions de surface du glacier est déterminante.

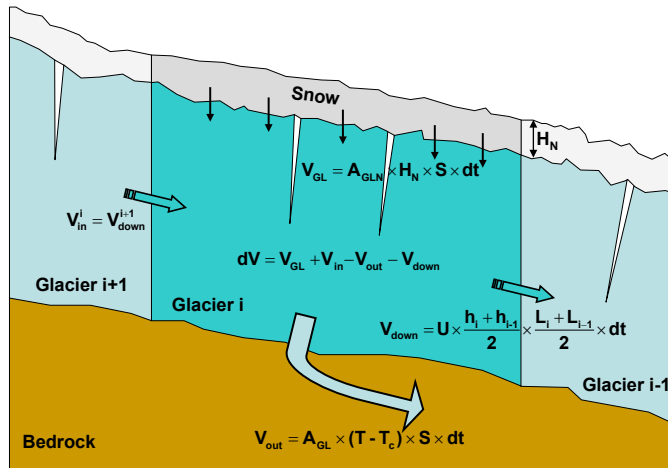


Fig. 15: Interactions et équation du modèle glaciaire. Les épaisseurs du glacier sont calculées selon la méthode GlabTop.

#### 4.2.3 Modèle de production d'énergie

Le modèle RS3.0 intègre un outil d'optimisation de la production. Il permet d'optimiser les opérations de turbinage avec accumulation (journalière, hebdomadaire ou saisonnière), de pompage et de pompage-turbinage. La simulation de turbinage au fil de l'eau est également possible mais sans optimisation puisque tous les paramètres sont fixés. Selon les situations, l'objet d'optimisation de la production (Fig. 13i) peut être lié à un réservoir ou à un cours d'eau.

Cet outil se base sur une analyse dynamique de nombreux paramètres et de variables calculées à chaque pas de temps selon un horizon de prévision. L'horizon définit de combien de temps en avance (typiquement 24 à 48 h) on dispose de cer-

taines données dynamiques (qui changent à chaque pas de temps). Ces données dynamiques sont:

- Le prix de l'électricité
- Le débit entrant dans le(s) réservoir(s): pour effectuer une prévention des crues et gérer correctement les retenues de faible volume

En plus de ces paramètres dynamiques, les paramètres suivants ont un rôle important pour l'optimisation:

- Le débit nominal de l'installation. Pour un fonctionnement en pompage-turbinage, il peut être différent selon l'exploitation en turbinage ou en pompage.
- Le volume du (des) réservoir(s) afin d'éviter un débordement ou une vidange complète
- Une courbe de remplissage cible par réservoir (principalement pour les retenues saisonnières): elle permet de définir le volume que devrait contenir le réservoir à une certaine période de l'année. La courbe peut être définie avec autant de points que souhaité. Un paramètre permet de définir avec quelle fidélité cette courbe cible doit être respectée. Cette variable permet d'effectuer l'optimisation multi-annuelle.
- Un prix seuil (valeur de l'eau d'un réservoir) au-dessus duquel on souhaite turbiner (resp. au-dessous duquel on souhaite pomper). Ce prix sert de base à l'algorithme et n'est pas appliqué rigoureusement. Par exemple, il peut être abaissé pour éviter un débordement ou si le niveau dans le réservoir est trop haut par rapport à ce qui est souhaité avec la courbe cible de remplissage.

Pour une exploitation en pompage-turbinage, l'algorithme cherche à maximiser le bénéfice possible sur l'horizon qui a été spécifié (donc sur un mode d'exploitation journalier). Un mode d'exploitation hebdomadaire est automatiquement obtenu par la courbe des prix: si les prix restent faibles le weekend, il y aura du pompage mais pas de turbinage. Un mode d'exploitation saisonnier est obtenu en paramétrant les courbes de remplissage cible des réservoirs.

#### 4.2.4 Prix de l'électricité

L'optimisation de la production nécessite d'avoir des données sur les prix pour déterminer quelles sont les périodes favorables pour exploiter l'aménagement. Ces données sont particulièrement importantes pour l'exploitation en pompage-turbinage, puisqu'elles déterminent le temps de fonctionnement annuel et les bénéfices associés.

Les prix horaire du marché spot (EEX) du 01.01.2004 au 31.12.2008 sont utilisés comme base. Ces 5 ans de données sont répétées en série avec une croissance de 0 % (afin de pouvoir comparer les différentes périodes entre elles) pour atteindre 2100. Ces prix ne reflètent pas complètement la réalité, mais peuvent être utilisés pour l'optimisation. En effet, la part effective du spot sur le marché est inférieure à 20 %, le reste étant vendu par des contrats à moyen ou long terme. Les prix de ces contrats sont plus élevés lorsqu'ils garantissent une puissance durant un certain temps en plus d'une certaine quantité d'énergie.

Pour tenir compte des prix des contrats dans l'analyse économique, le prix spot est utilisé avec un facteur multiplicatif pour tenir compte de la puissance disponible. Ce facteur est de 1.0 pour une puissance nulle et il augmente linéairement avec la puissance (pente de la droite à définir par la suite).

#### 4.2.5 Scénarios climatiques utilisés

Les mesures de température et de précipitations effectuées aux stations ANETZ et NIME proches de la région étudiée sont utilisées comme base pour les scénarios climatiques. Les périodes utilisées sont:

- pour Mauvoisin: du 1.10.1981 au 30.09.2009 (28 ans); il manquait les données avant le 1<sup>er</sup> octobre 1981.
- pour Oberhasli: du 1.01.1980 au 31.12.2009 (30 ans).

Les quatre scénarios climatiques sont construits en répétant plusieurs fois les données de base jusqu'à atteindre l'année 2100:

- scénario de référence 0°: les données sont utilisées sans modifications.
- scénario de refroidissement -2°: il admet une diminution linéaire de la température de -2° C jusqu'en 2100 sans modification des précipitations.
- scénario de réchauffement simple +4°: il admet une augmentation linéaire de la température de 4° C jusqu'en 2100 sans modification des précipitations.
- scénario de réchauffement ETHZ: plus élaboré que le précédent, il modifie les températures par une valeur  $\Delta T$  (à additionner) et les précipitations par un facteur  $K_i$  (à multiplier). Ce scénario est basé sur le projet EU-ENSEMBLE et a été fourni par le *Center for Climate Systems Modeling (C2SM)* de l'ETHZ. Les résultats sont obtenus avec le Regional Climate Model (RCM) CLM et le General Circulation Model (GCM) HadCM3Q0. Les valeurs  $\Delta T$  et  $K_i$  sont disponibles pour deux périodes (2021–2050 et 2070–2099). Une interpolation linéaire est utilisée en dehors de ces périodes. Bien que la température à la fin du 21<sup>e</sup> siècle soit approximativement

identique avec celle du scénario  $+4^\circ$ , la température du scénario ETHZ augmente plus rapidement et inclut également une modification des précipitations.

Deux structures sont utilisées pour répéter les données pour l'étude de Mauvoisin:

- Pour les scénarios  $-2^\circ$ ,  $0^\circ$  et  $+4^\circ$ , la base de 28 ans est reproduite en série.
- Pour le scénario ETHZ, les 4 périodes 2010–2020, 2021–2050, 2051–2069 et 2070–2099 sont toujours construites en partant du début de 1980 (les données manquantes sont reconstituées sur la base des stations environnantes). Ce découpage de 4 périodes est lié à la manière dont le scénario est donné par le C2SM.

Le fait que différentes années de base soient utilisées entre les scénarios et que l'année 1982 apparait plus souvent que 2009 dans le scénario ETHZ complique les comparaisons. Pour cette raison, une seule structure utilisant le même nombre de fois chaque année est utilisée dans l'étude d'Oberhasli. La période 2010–2020 se base sur 1980–1990, la période 2021–2050 sur 1980–2009, la période 2051–2069 sur 1991–2009 et finalement la période 2070–2099 sur 1980–2009.

Les résultats les plus intéressants sont ceux du modèle ETHZ, les autres étant surtout utilisés pour effectuer des comparaisons. L'analyse des aménagements est uniquement effectuée selon le scénario ETHZ.

#### 4.2.6 Procédure de calage

Le calage est effectué en comparant des données observées à celles simulées pendant une période de plusieurs années. L'objectif est de reproduire le plus fidèlement possible l'hydrogramme observé. Pour déterminer la qualité de la simulation, deux indicateurs sont utilisés:

- Le rapport volume total observé / volume total simulé qui doit être le plus proche possible de 1.0
- Le coefficient de Nash (Nash & Sutcliffe, 1961) qui doit être le plus grand possible (valeurs possibles entre  $-\infty$  et 1)

Le Tab. 3 présente les paramètres potentiels de calage. Une partie de ces paramètres (Tab. 2) sont fixés à une valeur constante. Les paramètres ayant une grande influence pour le calage sont  $C_p$ ,  $Grad_p$ ,  $A_N$ ,  $A_{GL,N}$ ,  $A_{GL}$ ,  $U$  et  $h_{max}$ .

En plus du calage des débits, un calage est effectué sur les glaciers. Le but est de reproduire l'avancement global du glacier qui permet d'alimenter la langue du glacier (où la majorité de la fonte se produit) avec la partie haute du glacier (où la glace se forme par l'accumulation de neige). Pour ce faire, il faut régler individuel-

lement la vitesse d'avancement de chaque bande de manière à ce qu'elles soient en équilibre (il ne faut pas qu'une bande se vide dans la suivante parce que sa vitesse est trop grande ou au contraire qu'elle accumule toute la glace des bandes supérieures parce que sa vitesse n'est pas suffisante pour transmettre sa masse à la bande inférieure). La bande la plus basse du glacier a une vitesse nulle puisqu'elle ne transmet aucune masse vers l'aval. Elle perd donc la masse transmise par la bande supérieure uniquement par fonte.

Grâce à l'expérience acquise durant l'étude de Mauvoisin, la procédure de calage est améliorée pour les glaciers de l'Oberhasli. La perte d'épaisseur par bande d'altitude est également calée selon des mesures faites sur le terrain par Flotron AG (Glaciological reports 1881–2009) pour les glaciers de l'Aar (Oberaar et Unteraar) ou en la mesurant par la comparaison des dernières cartes topographiques avec celles de 1980–1986 (Bieri, 2012).

Tab. 2: Liste des paramètres de calage fixés à une valeur constante.

Paramètre	Unité	Valeur
$\theta_{cr}$	-	0.1
$K_f$	-	1
$T_{cp1}$	°C	0
$T_{cp2}$	°C	2
$T_{cr}$	°C	0
$b_p$	s/m	$1.08 \cdot 10^6$
$gradT$	°C/m	-0.0054

Tab. 3: Description des paramètres potentiels de calage du modèle hydrologique.

Modèle	Param.	Unité	Description
<b>Station virtuelle</b>	$R$	m	rayon de recherche
	$C_P$		coefficient de correction de précipitation
	$Grad_P$		gradient altimétrique de précipitation
	$C_{ETP}$		coefficient de correction de l'ETP
	$Grad_T$		Gradient altimétrique de température
<b>Neige</b>	$A_N$	m/°C/s	facteur degré-jour de fonte de neige
	$A_{GL,N}$	mm/m/s	facteur de transformation de neige en glace
	$\theta_{cr}$	-	teneur en eau critique de la neige
	$T_{cp1}$	°C	température inférieure de séparation pluie-neige
	$T_{cp2}$	°C	température supérieure de séparation pluie-neige
	$T_{cr}$	°C	température critique de fusion de la neige
	$b_p$	s/m	facteur d'augmentation de fonte lors de pluies
<b>Glace</b>	$A_{GL}$	m/°C/s	facteur degré-jour de fonte de glace
	$U$	m/s	Vitesse d'écoulement du glacier
	$K_N$	1/s	constante de vidange du réservoir linéaire de neige
	$K_{GL}$	1/s	constante de vidange du réservoir linéaire de glace
<b>GR3</b>	$h_{max}$	m	capacité de rétention du réservoir-sol
	$k$	1/s	constante de vidange du réservoir-sol
<b>SWMM</b>	$K_s$	m <sup>1/3</sup> /s	coefficient de Strickler

## 5 TOURISTISCHES POTENZIAL

---

### 5.1 Bedeutung des Tourismus für den Alpenraum – Herausforderung Klimawandel

Der Tourismus trägt in der Schweiz etwa 2.9 % an die gesamtwirtschaftliche Bruttowertschöpfung bei. Mit gut CHF 15 Mia. Einnahmen durch ausländische Touristen erreichte dieser Wirtschaftszweig im Jahr 2010 Rang 4 der Schweizer Exportbranchen. Die direkte touristische Beschäftigung von rund 138'000 Vollzeitäquivalenten entspricht 4.4 % der volkswirtschaftlichen Gesamtbeschäftigung. Jährlich werden rund 65 Mio. Logiernächte verzeichnet, wobei rund 35 Mio. auf die Hotellerie und die restlichen 30 Mio. auf die Parahotellerie (Ferienwohnungen, Camping, Jugendherbergen) entfallen. Bei den Tourismusregionen verbuchte Graubünden 2010 mit 5.8 Mio. Einheiten die höchste Logiernächtezahl und auch der Alpenkanton Wallis wies mit 4.3 Mio. nach der Region Zürich den dritthöchsten Wert auf (nur Hotellogiernächte; STV et al. 2010, S. 6ff; BFS 2011, S. 11).

Im Kontext des Klimawandels ist der Tourismus gleich in zweifacher Hinsicht betroffen: Auf der einen Seite ist er Verursacher eines hohen Schadstoffausstosses. Rund 5 % (ohne Berücksichtigung des Radiative-Forcing-Index) des globalen CO<sub>2</sub>-Ausstosses können dem Tourismus zugeschrieben werden. Auf der anderen Seite reagiert der Alpenraum sehr sensibel auf die Klimaänderung, sodass die Branche in hohem Mass betroffen ist. Die Sensibilität des Alpenraums zeigt sich am deutlichsten in Form der Verschiebung der Schneesicherheitslinie, des Gletscherrückgangs, der Bildung von Gletscherseen, des Auftauens des Permafrosts etc. und erfordert besondere Reaktionsfähigkeiten. Damit wird deutlich, dass zwar die Wichtigkeit von Massnahmen zur Reduktion des Schadstoffausstosses unbestritten ist, aber der durch den Klimawandel verursachten Verletzlichkeit der Branche auch mit Anpassungskonzepten begegnet werden muss, um hohe Wertschöpfungseinbussen zu vermeiden. In einer Studie für das Berner Oberland beträgt beispielsweise die klimabedingte jährliche Umsatzveränderung unter Berücksichtigung von Investitio-



nen in Anpassung an den Klimawandel bis ins Jahr 2030 CHF –70 Mio. bzw. –4 % (Müller & Weber 2007, S. 58ff).

Für den Tourismus können insbesondere Landschaftsveränderungen grosse Auswirkungen bezüglich der touristischen Nachfrage, aber auch des Angebots auslösen. Eine der offensichtlichsten Veränderungen – verursacht durch steigende Temperaturen – ist der Rückzug der alpinen Gletscher. Die sich verändernde Gletscherlandschaft wirkt sich vielfältig auf den alpinen Tourismus und damit auf die wirtschaftliche Entwicklung der Alpen aus. Aus ökonomischer Sicht interessieren in diesem Zusammenhang vor allem die entstehenden Risiken/Gefahren und die damit verbundenen Anpassungsmassnahmen, aber auch Nutzungspotenziale sowie die allfällige Entstehung neuer touristischer Attraktionen und Aktivitäten. Für viele alpine Destinationen stellen Gletscher ein einzigartiges Landschaftselement dar, das vermarktet wird (vgl. dazu Rothenbühler 2006, S. 53). Aall & Hoyer (2005, S. 213) stellen einen Zusammenhang zwischen dem Wachstum eines Gletschers und den Besucherzahlen fest. Allerdings kann das Interesse trotz Rückzug der Gletscher mit einer zunehmenden Angebotsvielfalt gesteigert werden. Auch bietet sich der Gletscher als „window of opportunity“ an, um die Deutlichkeit des Klimawandels der breiten Bevölkerung aufzuzeigen. In einer Befragung von Besuchenden des Banff National Parks gaben 32 % der Befragten an, dass sie beim vollständigen Rückzug der Gletscher den Park nicht mehr besuchen würden. Demgegenüber würden nur 13 % bei Vegetationsveränderungen auf einen Besuch verzichten (Scott & Jones 2005, S. 19).

In einer Umfrage bei den Schweizer Gletscher-Gemeinden gaben 88.3 % an, von ihrem Gletscher finanziell zu profitieren; dies vorwiegend aufgrund der Wasserkraftnutzung und durch den Tourismus. 60 % der Gletscher-Gemeinden haben den Gletscher in mindestens einer Form touristisch erschlossen und viele dieser Gemeinden verwenden ihn für das Standortmarketing (z.B. „Grindelwald das gastliche Gletscherdorf“). Obwohl 39 % der Meinung sind, dass die Gletscher einen wichtigen bis sehr wichtigen Faktor für die touristische Attraktivität darstellen, sind knapp 20 % der Befragten überzeugt, dass nicht weniger Gäste kommen würden, wenn kein Gletscher vorhanden wäre (Vuilleumier & Neff 2008, S.24ff).

## 5.2 Landschaft und deren Bewertung

Für vorliegendes Forschungsprojekt muss sowohl den Aspekten der Naturlandschaft wie auch der Kulturlandschaft Rechnung getragen werden. Gemäss Landschaftskonzept Schweiz (BAFU 1998, S. 19) umfasst Landschaft „den gesamten Raum, innerhalb und ausserhalb von Siedlungen. Sie ist das Entstandene und Wer-

*dende natürlicher Faktoren wie Untergrund, Boden, Wasser, Luft, Licht, Klima, Fauna und Flora im Zusammenspiel mit kulturellen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Faktoren.“* Damit wird die Vieldimensionalität der Landschaft zum Ausdruck gebracht.

Viele Autoren unterteilen nicht explizit in Natur- und Kulturlandschaft, sondern setzen den Schwerpunkt bei der Zweiteilung auf eine objektive und eine subjektive Komponente: Objektiv umfasst die Landschaft den gesamten biotischen und abiotischen Bereich des Ökosystems, u.a. auch Gletscher oder Gletschervorfelder. Subjektiv vermitteln die Landschaften einen Erlebniswert, der zu Faszination führt oder auch als Bedrohung aufgefasst werden kann (vgl. Müller 2007, S. 74).

Landschaften erfüllen verschiedene Funktionen. Im Zentrum stehen die Lebens-, Natur-, Kultur-, Wirtschafts-, Erholungs-, Erlebnis- und Identifikationsfunktionen. Im Zusammenhang mit der touristischen Nutzung stellt die Landschaft zudem eine Art Puffer zwischen den natürlichen und den sozioökonomischen Systemen dar. Für die vorliegende Arbeit sind insbesondere die Rückwirkungen der Veränderungen im natürlichen Bereich auf die menschlichen Lebensbedingungen von Interesse. Der Klimawandel hat Einfluss auf das natürliche System und daher indirekt auf die schleichende Veränderung der Landschaft. Die alpine Landschaft wird beispielsweise durch den Rückzug der Gletscher und die Entstehung von Gletscherseen wesentlich verändert, nicht nur durch die veränderte Risikosituation, sondern auch visuell-ästhetisch. Dies hat wiederum Auswirkungen auf die touristische Nachfrage und das Angebot. Landschaft kann unter verschiedenen Aspekten betrachtet und bewertet werden (vgl. Fig. 16).

### *Sozialer Aspekt*

Unter diesem Aspekt wird insbesondere die Erholungsfunktion in den Vordergrund gestellt. Für Wiesmann (1995, S. 16) umfasst der Erholungswert als wichtigste Komponente das physiologisch orientierte Naturpotenzial. Grosjean (1986, S. 21) betont die physiologischen Werte als *„vor allem klimatologische und eventuell hydrologische Werte, welche der Gesundheit und physischen Erholung des Menschen dienen.“* Weiter hat eine Landschaft dann einen hohen Erholungswert, wenn sie sich für sportliche Aktivitäten eignet. Dies impliziert ein wichtiges Potenzial für die touristische Nutzung. Daher gibt es eine enge Beziehung zu den wirtschaftlichen Aspekten einer Landschaft.

Ebenfalls sind die sozialen Aspekte eng mit den visuell-ästhetischen Aspekten verknüpft, beispielsweise hinsichtlich Landschaftsveränderungen, die sowohl das soziale Gefüge einer Bevölkerung verändern können, als auch Einfluss auf den

visuell-ästhetischen Aspekt haben. Weitere soziale Aspekte einer Landschaft sind ihre Eigenschaften als Identitätsstifterin sowie jene des kulturellen Erbes (Stettler 2004, S. 23).

### *Visuell-ästhetischer Aspekt*

Aus multisensualer Perspektive kann davon ausgegangen werden, dass verschiedene Menschen die Landschaft unterschiedlich empfinden und bewerten. Trotzdem gibt es einen recht grossen Konsens darüber, was eine Landschaft als „schön“ empfinden lässt. So haben Kaplan und Kaplan (1989) mit ihrem Konzept der Landschaftspräferenz herausgefunden, dass Parklandschaften dann am attraktivsten bewertet werden, wenn sie einen mittleren Komplexitätsgrad aufweisen, kohärent, optimal lesbar und dennoch etwas rätselhaft sind. Pötke (1979) entwickelte eine quantitative Methode zur Bewertung des Freizeitwertes einer Landschaft. Der Katalog enthält 149 Elemente und ist in folgende fünf Gruppen aufgeteilt, wobei zukünftige Entwicklungstendenzen unberücksichtigt bleiben:

- Natürliche und naturräumliche Ausstattung (Klima, Gewässer, Naturdenkmäler...)
- Freizeitorientierte Infrastruktur (Wintersporteinrichtungen, kulturelle Einrichtungen...)
- Freizeitrelevante Infrastruktur (Denkmäler, Verkehrserschliessung...)
- Freizeit und Erholung belastende Infrastruktur und Immissionen (bebaute Flächen, Sperrgebiete...)
- Bevölkerung (Wohnbevölkerung, Tages- und Übernachtungsgäste...)

Mit den fünf Gruppen kann die Natur- und Erlebnisfunktion von Landschaften aufgezeigt werden.

### *Wirtschaftlicher Aspekt*

Die wirtschaftlichen Werte einer Landschaft beinhalten die Komponenten des produktorientierten Naturpotenzials, also z.B. die Bodenfruchtbarkeit, die Wachstumsbedingungen oder das genetische Potenzial von Nutzpflanzen und -tieren (Wiesmann 1995, S. 16). Dazu gehören u.a. Nutzwerte wie die Eignung für Land-, Alp- und Forstwirtschaft, für den Bergbau, für die Energieproduktion oder für touristische Nutzungen (Grosjean 1986, S. 22).

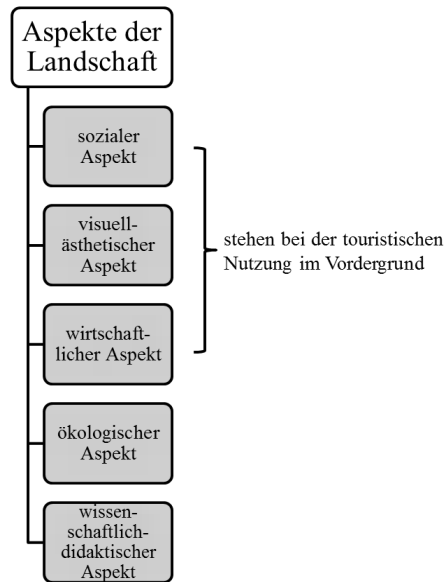


Fig. 16: Aspekte der Landschaft (in Anlehnung an Stettler 2004, S. 21ff).

### 5.3 Bedeutung und Bewertung der Landschaft aus touristischer Sicht

Obwohl sich die Bedeutung und Wertschätzung der Landschaft im Laufe der Zeit verändert hat, bleibt diese für den Tourismus doch eines der wichtigsten, wenn nicht gar das wichtigste Angebotselement. Untersuchungen zeigen, dass auch die Gäste von heute der Landschaft bei der Wahl der Feriendestination höchste Priorität einräumen (vgl. dazu Bebi et al. 2005; Econcept & Seco 2002; Grêt-Regamey & Bebi 2004; Hellbrück & Fischer 1999; Hunziker 2007; Nolte 2004; Penning 1981). Landschaft gilt wegen ihrer vielfältigen Erlebnis-, Erholungs- und auch ihrer sanften Produktionsfunktion (die Erholungsfunktion garantiert eigentlich erst die touristische Nutzung) schlechthin als Kapital des Tourismus und stellt im Berggebiet die zentrale Grundlage der touristischen Wertschöpfung dar.

Betrachtet man die touristische Nutzung unter den in Kapitel 5.2 beschriebenen Aspekten einer Landschaft, basiert sie vorwiegend auf den physiologischen Werten (sozialer Aspekt), dem sportlichen Aktivitätspotenzial (sozialer Aspekt), den visuell-ästhetischen Werten inkl. der psychologischen Erlebniswerte und auf den wirtschaftlichen Nutzwerten. In diesem Forschungsprojekt sollen diese Aspekte in den Vordergrund gerückt werden.

Die Attraktivität einer Landschaft kann kaum rein objektiv bewertet werden, sondern hängt sehr stark vom Betrachter und dessen kultureller Herkunft, seinen Interessen und beabsichtigten Aktivitäten ab. So hat beispielsweise Grosjean (1986, S. 130) eine Bewertung der Landschaft der Region Grindelwald aus der Sicht von drei Gästetypen vorgenommen:

- der *Naturtyp*, der für die Schönheit der ursprünglichen Natur hoch sensibilisiert ist,
- der *Traditionstyp*, der Werte der traditionellen Kulturlandschaft schätzt und
- der *Aktivitätstyp*, der technische Erschliessungen schätzt, um sie zu nutzen und ihnen deshalb tolerant gegenüber steht.

Grosjean kommt zum Schluss, dass sich über einen längeren Zeitraum hinweg für natur- und traditionsverbundene Menschen grössere visuell-ästhetische Verluste ergeben haben. Diese Verluste werden aber nur in einer starken Zeitrafferbetrachtung offensichtlich. Die menschliche Gewöhnungsdynamik verhindert eine sensible Reaktion auf langsame Veränderungen. Die Bewertung bringt aber auch zum Ausdruck, dass Landschaftsveränderungen von einzelnen Menschengruppen durchaus positiv eingeschätzt werden.

Trotz des Unterschieds zwischen einzelnen Typen gibt es Kriterien, die bei der Bewertung der Schönheit oder der Attraktivität einer Landschaft eine hohe Homogenität aufweisen, beispielsweise die Vielfalt, die Eigenart, die Natürlichkeit oder die Eignung (Rothenbühler 2006, S. 52f).

## 5.4 Ökonomische Auswirkungen der Gletscherseen auf den Tourismus

Die Klimaänderung hat neben gesellschaftlichen, sozialen und ökologischen Veränderungen einen wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung des Tourismus. Allerdings sind es im Kontext des Klimawandels vor allem die Veränderungen der ökologischen Parameter, wie beispielsweise des Gletscherrückzugs, welche sich auf den Tourismus auswirken und Änderungsprozesse auslösen. Um die Komplexität und Verflechtungen zu visualisieren und insbesondere um die gegenseitigen Wirkungen aufzuzeigen, wurde ein Wirkungsmodell erstellt (Fig. 17).

Inwieweit die Veränderungen der alpinen Gletscher die Nachfrage beeinflussen, ist schwierig abzuschätzen, da es sich um ein langfristiges Phänomen handelt. Kurzfristig spielen wirtschaftliche Faktoren wie beispielsweise Wechselkursschwankungen, allgemeine gesellschaftliche Trends oder gesellschaftliche Änderungen

wie die Überalterung eine weit wichtigere Rolle für die Nachfrageentwicklung. Die Veränderung der Attraktivität der Landschaft durch den Gletscherrückzug und die Entstehung neuer Seen kann mit den bereits eingesetzten Veränderungen teilweise eingeschätzt werden. Die diesbezügliche Wahrnehmung ist aber ausgesprochen subjektiv. Zudem spielen Gewöhnungseffekte eine grosse Rolle.

Die Leistungsträger des touristischen Angebots können solche Veränderungen zielgerichtet und proaktiv angehen, darüber diskutieren und anstehende Anpassungsoptionen bewerten. Dies kann sowohl durch den privaten Sektor als auch durch die öffentliche Hand auf den Ebenen Gemeinde-Kanton-Bund geschehen. Die Veränderungen führen durchaus zu Chancen, die durch eine gezielte Angebotsentwicklung genutzt werden können.

Im Zusammenhang mit den Gefahren und Risiken, die beim Gletscherrückzug auftreten können, aber auch bei der Erfassung möglicher Anpassungsmassnahmen muss der Einfluss der Infrastruktur- und Raumplanung mitberücksichtigt werden. Falls allfällige Zonenplanänderungen vorgenommen werden müssen, hat dies auch indirekt Auswirkungen auf den Tourismus, beispielsweise wenn Zweitwohnungen davon betroffen sind. Im Bereich der Infrastrukturplanung sind verschiedene Einflüsse auf den Tourismus denkbar: Konstruktion neuer Staumauern, Umlegung einiger Teilstrecken von Bergbahnen und Skiliften, Erstellung neuer Infrastruktur aufgrund eines Gletschersees (Hängebrücke zur Erschliessung des Gletschersees) etc. Sowohl Infrastrukturveränderungen als auch raumplanerische Veränderungen verursachen Kosten, welche sich im Endeffekt auf die Preispolitik auswirken. Dies hat wiederum Einfluss auf die regionale Wirtschaft. Auf der andern Seite können solche Veränderungen durchaus auch nutzenstiftend sein, wenn neue touristische Attraktionen entstehen, welche Einfluss auf die Nachfrage und damit auf die Auslastung haben. Die gesetzten Preise haben Auswirkungen auf die touristischen Erträge. Am Schluss geht es um Wertschöpfungsveränderungen in einer Region bzw. Destination. Diese Veränderungen stehen denn auch im Fokus dieser Teilstudie. Die damit verbundenen Unsicherheiten und fehlenden Daten stellen eine der Hauptschwierigkeiten bezüglich der Methodik dar.

## Neue Seen als Folge des Gletscherschwunds

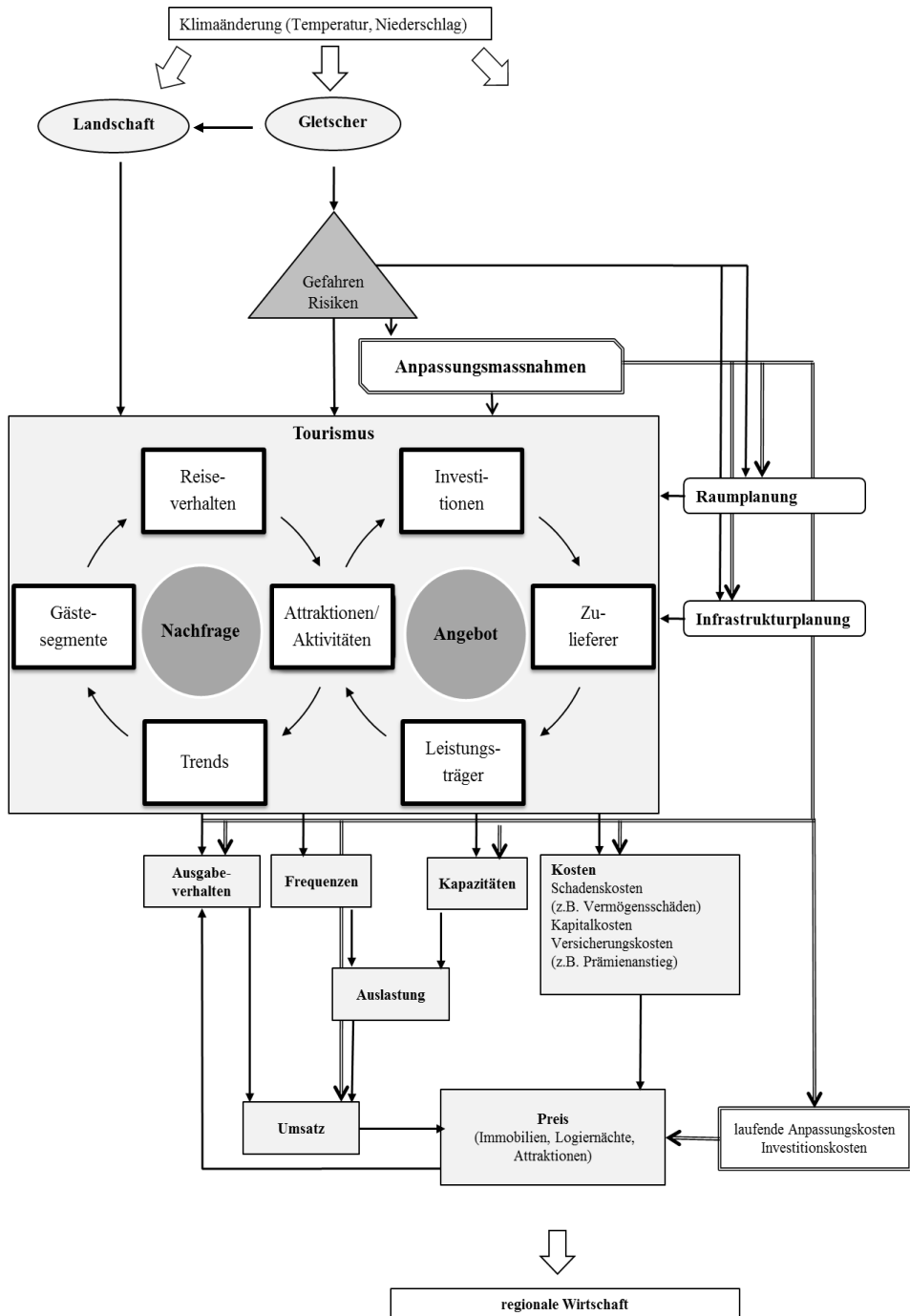


Fig. 17: Wirkungsmodell zu den sozioökonomischen Auswirkungen des Gletscherrückzugs und der Gletscherseen.

## 5.5 Vorgehen und Methodik

Betreffend Bewertung der ökonomischen Auswirkungen einer sich verändernden Landschaft haben wir es mit einer der schwierigsten Schnittstellen zu tun, da landschaftliche Schönheit und andere Umweltleistungen in die Bewertung mit einbezogen werden müssen. Erschwerend kommt der Faktor Zukunft dazu. Eine Bewertung zukünftiger Landschaften hat unter Berücksichtigung von Klimaszenarien und den daraus möglichen Veränderungen zu erfolgen (vgl. dazu Grêt-Regamey & Bebi 2004, S. 1). Eine umfassende quantitative Erhebung ist nicht möglich. Auch können aus touristischer Sicht die Auswirkungen potenzieller Gletscherseen kaum isoliert betrachtet werden. Weiter sind insbesondere Gefahrenabschätzungen und Nutzenpotenziale dieser Seen von den Modellierungen der anderen Teilprojekte abhängig. Die kumulierten Unsicherheiten führten dazu, dass die methodischen Schritte gegenüber der Projekteingabe laufend angepasst werden mussten.

Stellt man die schöne Landschaft als zentrales Element des touristischen Angebots ins Zentrum, führt der methodische Weg in Richtung Bewertung des landschaftsästhetischen Werts. Dieser Ansatz muss in erster Linie bezüglich einer sich verändernden Landschaftsattraktivität aufgrund des Gletscherrückgangs und der Bildung von Gletscherseen in Betracht gezogen werden.

Im Zusammenhang mit den sozialen Aspekten einer Landschaft ist die Wahrnehmung der Erlebnisatmosphäre zentral. Dies ist ein wichtiger Teilaspekt des Ansatzes des Erlebnis-Settings, der am FIF der Universität Bern entwickelt wurde. Viele Untersuchungen weisen auf die wachsende Bedeutung der Erlebnisqualität im Tourismus hin. Unter Setting wird ein Schauplatz oder eine Situation verstanden, also eine Landschaft, eine Destination, ein Skigebiet, ein Hotel etc. Die auf den Gast einwirkenden Umweltreize in diesem Setting ergeben eine Gesamtatmosphäre, die ihrerseits sowohl positive als auch negative Erlebnisse auslösen kann. Die Gesamtatmosphäre ist einerseits durch die natürlichen Faktoren wie Jahreszeit, Wetter und Umweltqualität gegeben und kann andererseits durch Akteure inszeniert werden (Scheurer 2003).

Die Wahrnehmung einer Erlebnisatmosphäre ist multisensual, ist aber stark visuell durch Farben, Formen, Texturen, Bewegungen, Tiefen- und Horizontstrukturen geprägt. Es handelt sich um einen subjektiven und situativen Vorgang, d.h., dass ein Raumerlebnis nicht nur durch die Sache selbst bestimmt wird, sondern stark vom Wahrnehmungsvermögen einer Person mit ihren Erwartungen und Erfahrungen sowie von der aktuellen Situation abhängig ist.

Die Gesamtheit der Einzelreize erzeugt eine bestimmte emotionale Wirkung. Da Individuen möglichst Atmosphären aufsuchen, die in ihnen positive Gefühle



auslösen, ist die Betrachtung der atmosphärischen Umwelt eine entscheidende Voraussetzung zur Optimierung des Ferienerlebnisses. Sie kann mithilfe einer einfachen Matrix mit den Achsen anziehend-abweisend und erregend-beruhigend bewertet werden (vgl. Fig. 18).

Ein Teil der atmosphärischen Reize kann mittels Angebotsgestaltung inszeniert und damit beeinflusst werden, andere wie beispielsweise das Wetter oder eben die Landschaft kaum. Ziel der touristischen Angebotsgestaltung muss es sein, in einem bestimmten Raum eine Atmosphäre zu schaffen, die dem Besucher möglichst viele positive Erlebnisse ermöglicht.

Fig. 18: Bewertungsmatrix der resultierenden Atmosphäre (vgl. dazu Schober 1995, S. 26).

Für diese Studie wurden Einschätzungen der Atmosphäre vor Ort in einer ex-ante bzw. einer ex-post-Betrachtung durchgeführt (Fig. 18). Diese erfolgten sowohl durch die Projektbeteiligten bei Begehungen sowie durch ausgewählte und ortskundige Experten.

Bei der ökonomischen Bewertung bzw. bei der Erfassung von Kosten- und Nutzenfaktoren von Gletscherseen und deren Auswirkungen handelt es sich um zwei ökonomische Hauptkomponenten (vgl. dazu Fankhauser 1998; Nöthiger 2003):

*Direkte Kosten und Nutzen* durch Gletscherrückzug und neu entstandene/entstehende Gletscherseen:

- Kosten für potenzielle primäre Schäden an Gebäuden und Verkehrswegen
- Kosten für technische Massnahmen wie Hochwasserschutz, Sicherheit und ökologische Regulation des Abflussregimes etc. aufgrund der Gefahrenlage
- Schaffung neuer Attraktionen und Aktivitäten

*Indirekte Kosten und Nutzen* durch die Veränderung und den Wert der Landschaft:

- potenzielle sekundäre oder indirekte Schadenskosten wie z.B. Betriebsausfälle
- potenzielle Verluste der regionalen Wirtschaft durch negative Veränderungen der Landschaft und deren Attraktivität: potenzielle tertiäre Schadenskosten („Abschreckungskosten“, Imageveränderung)
- Einsparungen durch vermiedene potenzielle Schäden
- Erträge der regionalen Wirtschaft aufgrund technischer Veränderungen (Anpassungsmassnahmen) bzw. positiver Veränderung der Landschaft und deren Attraktivität

Bezüglich der Kosten-Nutzen-Abschätzungen wurde im Fallbeispiel Grindelwald der Fokus auf die indirekten Kosten sowie die Massnahmenkosten gelegt, in den anderen Fallbeispielen wurde ein qualitativer Beschrieb der Kosten und Nutzen erarbeitet. Der Einfluss der Veränderungen auf den Bergsport und damit auf die Natur- und Erholungsfunktion wird in der Fallstudie Oberhasli exemplarisch am Beispiel der SAC-Hütten in dieser Region aufgezeigt (Kap. 11.2).



## 6 RECHTLICHE ASPEKTE

---

### 6.1 Wem gehören die neuen Gletscherseen?

#### 6.1.1 Hoheits- und Eigentumsverhältnisse im Hochgebirge

Bestehende oder neue *Gletscherseen* sind sachenrechtlich *gleich zu behandeln wie Gletscher, Felsen oder Gletscherbäche*. Das schweizerische Zivilgesetzbuch (ZGB) ordnet in Art. 664 *Gletscher, Firne* und die daraus entspringenden *Quellen* – also auch *Gletscherseen* – den *öffentlichen Sachen im Gemeingebrauch* zu. Diese dienen unter anderem der Wahrnehmung öffentlicher Interessen. Wie die Luft, die öffentlichen Gewässer, die Wälder und Berge stehen Gletscher und ihre Seen jedermann zur *freien Benützung* offen, solange diese gemeinverträglich ist (Wandern, Skitouren usw.). Gesteigerte Nutzung (z.B. grosse Anlässe wie Patrouille des Glaciers) und Sondernutzung (z.B. Wasserkraftnutzung, Errichtung einer Seilbahn samt Skipisten) fallen nicht mehr unter den Gemeingebrauch. Dafür braucht es entsprechende staatliche Bewilligungen bzw. eine Sondernutzungskonzession. Bei vorhandener gesetzlicher Grundlage sind für die Sondernutzung Gebühren zu entrichten. Das ZGB, welches im Jahre 1907 erlassen wurde, bezeichnet Fels- und Gletschergebiete schliesslich auch als „*kulturunfähiges Land*“. Damit ist gemeint, dass es im Gegensatz zum kulturfähigen Land keine planmässige land- oder forstwirtschaftliche Nutzung zulässt. Energiewirtschaftliche, touristische und ökologische Gesichtspunkte spielen dabei – aus historischen Gründen – keine Rolle (zu den vorliegenden Ausführungen Bütler, 2006, S. 21–54, S. 59 ff.; ferner Pfammatter, 2009).

Art. 664 Abs. 1 ZGB bestimmt, dass Gletscher- und Felsgebiete und dazugehörige Gletscherseen und -bäche unter der *Hoheit* desjenigen *Kantons* stehen, in dessen Gebiet sie sich befinden. Privateigentum ist daran grundsätzlich nicht vorgesehen, was den *Vorrang der Öffentlichkeit* ausdrückt. Das Gesetz lässt jedoch ausnahmsweise Privateigentum an Fels- und Gletschergebieten zu, wenn es im Einzelfall nachgewiesen werden kann. Die *Trennlinie zwischen dem kulturfähigen und dem*

*kulturunfähigen Land* ist rechtlich von erheblicher Bedeutung, da kulturfähiges Land in der Regel im Privateigentum steht (von den Waldflächen stehen jedoch nur 29 % im Privateigentum), kulturunfähiges Land aber meistens kantonales oder kommunales Hoheitsgebiet darstellt.

Das *Hoheitsrecht der Kantone* ist nicht mit der Eigentümerstellung gleichzusetzen, ist ihr aber verwandt (eigentumsähnliche Sachherrschaft). Das Hoheitsrecht geht weiter als das Eigentumsrecht, weil damit auch gesetzgeberische Befugnisse verbunden sind. Die Kantone können betreffend ihre Hoheitsgebiete selber festlegen, ob es beim Hoheitsrecht bleiben soll (Kantone Bern, Nidwalden, Obwalden, Schwyz, St. Gallen, Tessin) oder ob sie an diesem Land für sich selber öffentlich-rechtliches oder privatrechtliches Eigentum begründen (Kanton Waadt). Sie können das Hoheits- bzw. Eigentumsrecht auch *an untergeordnete Gemeinwesen delegieren*, vor allem an Gemeinden (Kantone Glarus, Graubünden, Wallis [öffentliches Eigentum der Munizipalgemeinden]), aber auch an Bezirke oder Allmendkorporationen (z.B. Kanton Uri). Stets sind sowohl Kantone und Gemeinden bundesrechtlich verpflichtet, den *Gemeingebrauch* an Fels- und Gletschergebieten zu gewährleisten, d.h. der Bevölkerung den Zutritt zu diesen Gebieten jederzeit offenzuhalten. *Einschränkungen des Zutrittsrechts* kommen jedoch bei besonderen Gefahrenlagen in Betracht, z.B. bei akut drohenden Naturgefahren, wegen militärischer Schiessübungen oder aus Gründen des Naturschutzes (Fauna und Flora).

Wie erwähnt, gilt nach Art. 664 Abs. 2 ZGB eine *Vermutung zuungunsten des Eigentums von Privatpersonen* an Gletschern und Gletscherseen. Das Gesetz lässt aber den *Nachweis des Privateigentums* ausdrücklich zu. Nach Lehre und Rechtsprechung muss eine Privatperson in der Regel mit alten Urkunden nachweisen (dazu Art. 8 ZGB), dass sie das Fels- und Gletschergebiet vor Inkrafttreten des ZGB (1. Januar 1912) durch Kauf, Tausch, Schenkung, Erbschaft, eventuell „Aneignung“ oder Ersitzung erworben hat. Bei der *Auslegung alter Gebirgs-Grenzbeschriebe* wird die These von Peter Liver, wonach sich das Grundeigentum vor dem Jahre 1800 im Gebirgsraum – mangels damaligem Interesse an Gletschergebieten – auf die alpwirtschaftlich nutzbaren Zonen beschränkt habe, kritisch bzw. kontrovers diskutiert (Bütler, 2006, S. 138 ff.). Unter sehr einschränkenden Bedingungen könnte Privateigentum an kulturunfähigem Land noch heute erworben werden, falls dies das kantonale Recht vorsieht und mit den öffentlichen Interessen (freies Zutrittsrecht, Naturschutz) vereinbar ist (Art. 664 Abs. 3 ZGB). Gemeinwesen bevorzugen heute andere rechtliche Lösungen wie befristete Nutzungskonzessionen, Pachtverträge sowie Dienstbarkeiten (z.B. Baurechte).

Im Zusammenhang mit der Nutzung der Wasserkraft hat der Gesetzgeber im Wasserrechtsgesetz (WRG) Regeln betreffend die *Verfügung über die Gewässer* aufge-

stellt. Grundsätzlich stehen die Wasservorkommen unter der *Hoheit der Kantone* (Art. 76 Abs. 4 Bundesverfassung, siehe auch Kap. 6.3.2). Bei den bedeutenden Gewässern handelt es sich um öffentliche Sachen im Gemeingebrauch. Gemäss Art. 1 Abs. 2 WRG gelten als *öffentliche Gewässer* Seen, Flüsse, Bäche und Kanäle, an denen nicht Privateigentum nachgewiesen ist. Ebenso betrifft dies Gewässer, die zwar im Privateigentum stehen, aber von den Kantonen den öffentlichen Gewässern gleichgestellt werden. Nach Art. 2 Abs. 1 WRG bestimmt das kantonale Recht, welchem Gemeinwesen (Kanton, Gemeinde, Bezirk oder Körperschaft) die Verfügung über die Wasserkraft zusteht. Beispielsweise liegt die Hoheit über die Gewässer im Kanton Graubünden bei den Gemeinden; im Kanton Wallis verhält es sich mit Ausnahme der Rhone und des Genfersees ebenso (Jagmetti, 2005, S. 406 f.). Es ist festzustellen, dass die Regelung des ZGB zu den herrenlosen und öffentlichen Sachen und diejenige des Wasserrechts im Wesentlichen übereinstimmen. Welche dieser Rechtsgrundlagen bei Gletscherseen primär anwendbar sind, hängt von der Fragestellung und den Umständen im Einzelfall ab (z.B. See auf oder vor dem Gletscher, Eigentumsstreitigkeit, Nutzung für Tourismus oder Wasserkraft, Schutz vor Seeausbrüchen).

In der Vergangenheit haben zahlreiche Privatpersonen und -unternehmen *Privateigentum an Gebirgsgrundstücken* erworben. Beispiele sind Sektionen des Schweizer Alpen-Clubs (Parzellen für Berghütten), Bahnunternehmen (für Bergstationen) sowie Wasserkraftwerke. Im Eigentum von Privatpersonen stehen z.B. Parzellen bei der Tierberglihütte (BE), beim Jungfraujoch (BE/VS), beim Schilthorn (BE) und beim Klein-Titlis (BE/OW) sowie folgende *Berge und Gletscher*: der Unteraar- und der Oberaargletscher samt Teilen des Finsteraarhorns (BE/VS), der Rhonegletscher (VS) und die Pigne d'Arolla (VS).

Im *Grimselgebiet* (BE) kämpfte der Kanton Bern zu spät und erfolglos gerichtlich um Hoheit und Eigentum an Bergen und Gletschern (Unteraar- und Oberaargletscher, Ostseite des Finsteraarhorns). Die Kraftwerke Oberhasli AG (KWO), die Betreiberin der Wasserkraftwerke Grimsel, hatte verschiedene Parzellen durch Kauf, Tausch und Enteignung in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts erworben und war entsprechend im kantonalen Grundbuch von Guttannen (BE) als Eigentümerin eingetragen. Erst im Jahre 1977 berief sich der Kanton Bern (zu spät) auf sein Hoheitsrecht am kulturunfähigen Land. Mit seiner Klage vor den Gerichten unterlag er, weil es dem Kanton nicht gelang, die Unrichtigkeit der Eintragung im kantonalen Grundbuch zu beweisen.

Im *Fall Rhonegletscher* (VS) erhob der Hotelier Hermann Seiler im Jahre 1934 Klage gegen die Munizipalgemeinde Oberwald (VS) auf Feststellung, dass er Eigentümer der unteren Gletschalp einschliesslich des Rhonegletschers sei. Er berief

sich auf die Nutzung des Gletschbodens und des Gletschers durch die Alpen-Genossenschaft Gletsch, welche nach 1830 ein Gletscherhotel sowie zwei Eisgrotten errichtet hatte. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts kauften die Vorfahren des Klägers alle Rechte der Genossenschaft auf, wodurch die Familie Seiler Alleineigentümerin der Gletschalp geworden war. Nach dem Urteil des Kantonsgerichts Wallis führten die touristischen Aktivitäten der Genossenschaft und der Familie Seiler nach altem kantonalem Sachenrecht zum Eigentumserwerb. Das Bundesgericht bestätigte diesen Entscheid im Jahre 1936. Später gründete die Familie Seiler die Immobilien Gletsch AG, welcher sie die Gletschalp samt Rhonegletscher übertrug. Im Hinblick auf die Errichtung eines Stausees auf dem Gletschboden erwarb der Kanton Wallis 1984 alle Aktien der Gesellschaft. Somit steht der Rhonegletscher heute formal im Privateigentum einer Aktiengesellschaft, ist wirtschaftlich jedoch in öffentlicher Hand.

In den letzten Jahrzehnten gab es vor allem zwischen Kantonen oder Gemeinden Streitigkeiten um Hoheit und Eigentum an Gletschergebieten. Zu erwähnen sind die Fälle Klein-Titlis, Zermatt, Pizzo Tambo, Glacier de la Plaine Morte, Susten-gebiet, Vorabgletscher, hinteres Turtmanntal (vgl. Tab. 4).

Tab. 4: Fallbeispiele für Eigentumsstreitigkeiten um Gletschergebiete (aus Bütler, 2006, S. 93–146).

Streitobjekt und betroffene Interessen	Streitparteien/Beteiligte	Urteil/Entscheid (letztinstanzlich)	Rechtsgrundlage bzw. Ergebnis
Gletschboden, Gletschalp und Rhonegletscher (VS),  Touristische Interessen (Einnahmen aus Gletschergrotte usw.)	Hermann Seiler vs. Gemeinde Oberwald (VS)	Urteil des Bundesgerichts vom 29.01.1936	Okkupation nach altem kantonalem Sachenrecht, Hotelierfamilie Seiler gemäss Gerichtssentscheid Alleineigentümerin des Gebiets, später Übertragung des Grundstücks in eine Aktiengesellschaft; Kauf aller Aktien durch den Kanton Wallis.
Gelände bei der Bergstation auf dem Klein-Titlis (OW),  Touristische Interessen	Kantone Bern und Obwalden; später Gesuch der Luftseilbahnen Trübsee-Stand-Klein-Titlis	Entscheid des Obwaldner Regierungsrates vom 01.04.1969	Fehlende Regelung im kantonalen Recht; Abtretung des Terrains der Bergstation vom Kanton an die Bürgergemeinde Engelberg, welche das Gelände der Luftseilbahn-Unternehmung abtreten sollte.

Berge und Gletscher rund um Zermatt (VS) (Matterhorn–Breithorn–Monte Rosa usw.),  Wasserzinsen, Entschädigungen für Überfahrtsrechte, Vermarktungswert der Berge	Munizipalgemeinde Zermatt (VS) vs. Bürgergemeinde Zermatt (VS)  Beginn der Streitigkeit im Jahre 1967	1. Urteil des Bundesgerichts vom 23.02.1984 (Zivilweg)  2. Urteil des Bundesgerichts vom 21.03.1995 (verwaltungsrechtlicher Weg)	Kein Nachweis des Privateigentums durch die Bürgergemeinde; Übertragung des Eigentums an die Munizipalgemeinden mit kantonalem Gesetz im Jahre 1933. Munizipalgemeinde Zermatt ist (öffentlich-rechtliche) Eigentümerin des kulturunfähigen Landes.
Tambogletscher (GR),  Hoheit/Eigentum am kulturunfähigen Land, symbolischer Wert	(ortsfremde) Gemeinde Felsberg (GR) vs. (Orts-) Gemeinde Medels (GR)	Urteil des Kantonsgerichts Graubünden vom 13.12.1990	Nachweis des Privateigentums gestützt auf alten Kaufvertrag von 1831 gelungen. Die ortsfremde Gemeinde Felsberg ist Privateigentümerin eines Teils des Tambogletschers.
Unteraargletscher, Oberaargletscher, Bergketten bis Finsteraarhorn (BE),  Hoheit/Eigentum am kulturunfähigen Land, Wasserkraft	Kanton Bern vs. Kraftwerke Oberhasli AG	Zwei Urteile des Bundesgerichts vom 07.12.1993	Vermutung der Richtigkeit der Eintragung im kantonalen Grundbuch, Beweis der Unrichtigkeit durch Kanton Bern nicht erbracht. Widersprüchliches Verhalten des Kantons Bern. Kraftwerke Oberhasli AG ist Eigentümerin des gesamten Gebiets.
Glacier de la Plaine Morte (BE),  Grösse des Kantonsgebiets, Wasserrechte, Zuständigkeit bei Unfällen, Steuereinnahmen	Kanton Wallis vs. Kanton Bern	Urteil des Bundesgerichts vom 14.12.1994	Anerkennung von Einträgen in alten Landeskarten, Genehmigung der Grundbuchvermessung durch den Bund, Grenzbereinigung (keine Gebietsabtretung) zwischen Kantonen. Der Glacier de la Plaine Morte gehört zum Kanton Bern.



<p>Stei- und Steilimigletscher, Steisee, Sustenhorn, Gwächtenhorn, Tierberg (BE) usw.</p> <p>Touristische Interessen, Versteigerung des kulturunfähigen Landes im Konkurs? Deckung der Gläubigerforderungen</p>	<p>Heinz Jossi (war Hotelier im Sustengebiet) bzw. Konkursgläubiger (Banken) vs. Kanton Bern</p>	<p>Entscheid der zweiten Gläubigerversammlung im Juni 2000 betreffend Einsprache von Heinz Jossi beim Gemeinderat Gadmen vom 26.06.1998</p>	<p>Amtliche Neuvermessung für das eidgenössische Grundbuch; Auslegung eines alten Kaufvertrags von 1901/02. Verzicht der Konkursgläubiger auf Rechtsstreit mit dem Kanton Bern, welcher an den Bergen und Gletschern hoheitsberechtigt ist. Die Kraftwerke Oberhasli AG ersteigerte die Steinalp.</p>
<p>Vorabgletscher, Vorab (GR, Bündner Teil)</p> <p>Anspruch auf Baurechtszinsen (für Baurechte des Bahnunternehmens im Skigebiet)</p>	<p>Gemeinde Sagogn (GR, ortsfremde Gemeinde) vs. Gemeinde Laax (GR, Ortsgemeinde)</p>	<p>Zwei Urteile des Bundesgerichts vom 30.08.2001</p>	<p>Amtliche Vermessung für das Grundbuch, Auslegung eines alten Kaufvertrags von 1528 betreffend Alp St. Martin, z.T. wörtliche Auslegung des alten Kaufvertrags, z.T. Anwendung der strittigen These von Peter Liver. Gletschergebiet ist im Eigentum der Ortsgemeinde Laax.</p>
<p>Hinteres Turtmannental mit Turtmann- und Bruneggletscher (VS)</p> <p>Anspruch auf Wasserzinsen (Fr. 6.5 Mio.)</p>	<p>Munizipalgemeinde Oberems (VS) vs. Munizipalgemeinde Turtmann (VS)</p>	<p>Urteil des Kantonsgerichts Wallis vom 05.07.2004</p>	<p>Hälftige Teilung des oberen Turtmannnals zwischen den beiden Ortsgemeinden. Grenzverlauf entlang des Flusses Turtmännna und in der Mitte des Turtmanngletschers.</p>

### 6.1.2 Bedeutung der Eigentumsfrage für andere Rechtsbereiche

Die Frage nach dem Eigentum bzw. der sachenrechtlichen Verfügungsmacht an Fels- und Gletschergebieten (am kulturunfähigen Land) ist in der Praxis von erheblicher Bedeutung, wie die aufgelisteten Fälle zeigen. Aus Sicht des geltenden Zivilrechts sollten Fels- und Gletschergebiete als öffentliche Sachen im Gemeingebrauch nicht in der Hand von Privateigentümern sein, sondern den Gemeinwesen zustehen; Nutzungsrechte können auch mittels anderer, zeitlich befristeter Rechtsinstrumente eingeräumt werden (z.B. Pachtvertrag, Sondernutzungskonzession, Dienstbarkeiten wie Baurechte). Immerhin ist festzuhalten, dass auch Fels- und Gletschergebiete, welche im Privateigentum stehen, dank der Regelung von

Art. 699 ZGB (Zutrittsrecht, sog. kleiner Gemeingebrauch) im Rahmen des Gemeingebrauchs jedermann zugänglich sind. Das *Zutrittsrecht* umfasst alle Formen des Betretens, soweit dies nicht zu Schäden am Grundeigentum führt (z.B. Bergsteigen, Tourenskifahren). Nicht zulässig sind Massenveranstaltungen oder der Einsatz von motorisierten Sportgeräten; dafür braucht es die Einwilligung des Eigentümers bzw. der Behörden.

Bei Eigentumsstreitigkeiten um kulturunfähiges Land geht es oftmals um grosse und bedeutsame Gebiete. Die Gründe liegen vor allem in wirtschaftlichen, aber auch in *rechtlichen, symbolischen und ökologischen Interessen* der Streitparteien. Beispiele für *wirtschaftliche Interessen* (Tourismus, Energiewirtschaft) sind Wasserzinsen, Steuereinnahmen und Konzessionsgebühren für Sondernutzung (für Gemeinwesen), Entschädigungen für Überfahrts-, Weg-, Baurechte, Leitungsdienstbarkeiten, Militärübungen etc. Oftmals bildete die Festlegung der Grenzen des kulturunfähigen Landes im Rahmen der amtlichen Vermessung für das eidgenössische Grundbuch Anlass für Eigentumsstreitigkeiten (rechtliches Vorgehen von Alpeigentümern gegen die Grenzziehung im Einzelfall).

Die Eigentumsposition am kulturunfähigen Land kann sich allenfalls in den Bereichen der zivilrechtlichen Haftung, der grundbuchlichen Behandlung solcher Grundstücke sowie der Formvorschriften auswirken. Die *Haftung des Werkeigentümers* (Art. 58 Obligationenrecht, OR) und die *Haftung des Grundeigentümers* (Art. 679 ZGB) knüpfen grundsätzlich an das Eigentum am Werk bzw. am Boden an. Dies ist z.B. im Zusammenhang mit Stauanlagen oder Wanderwegen von Bedeutung. In der Regel erfasst das Bodeneigentum alle Bauten, Pflanzen und Quellen (Art. 667 Abs. 2 ZGB). Ob ein Gemeinwesen (Kanton oder Gemeinde) am Boden ein Hoheitsrecht oder ein Eigentumsrecht beansprucht, darf für die Beantwortung rechtlicher Fragen (z.B. im Bereich der Werkeigentümer-, Grundeigentümer- und der Staatshaftung) hingegen keine entscheidende Rolle spielen, denn die zuständigen Gemeinwesen können die Art ihrer Rechtsposition selber bestimmen (Näheres bei Bütler, 2006, S. 29–33). Eigentums- oder Hoheitsrecht von Kantonen bzw. Gemeinden sind diesbezüglich gleich zu behandeln. Öffentlich-rechtliche Bestimmungen (z.B. Vorgaben im Umweltrecht sowie im Natur- und Heimatschutz) gelten unabhängig von den sachenrechtlichen Verhältnissen.

### 6.1.3 Ermittlung der Eigentumsverhältnisse im konkreten Fall

Fels- und Gletschergebiete werden in der Raumplanung ebenfalls berücksichtigt. Auf der Ebene Richtplanung können sie als besonders schöne, wertvolle oder durch Naturgefahren bedrohte Gebiete erfasst sein. In der Regel werden sie in den Nut-

zungsplänen der Gemeinden in die Zone des *übrigen Gemeindegebiets* eingeteilt; teilweise gehören sie auch zu *Schutzzonen*. Die *Eigentumsverhältnisse* bzw. *andere sachenrechtliche Fragen* (z.B. das Bestehen von Baurechten) betreffend Gletscherseen sind im jeweiligen Einzelfall abzuklären. Dazu ist eine Anfrage beim für das Gebiet zuständigen *Grundbuchamt* erforderlich. Gehen aus dem kantonalen Grundbuch keine speziellen, rechtsgültig eingetragenen Eigentumsverhältnisse hervor, so ist zu prüfen, ob das kantonale Recht zu Hoheit bzw. Eigentum am kulturunfähigen Land und zur Ausgestaltung dieser rechtlichen Positionen eine ausdrückliche Regelung bereithält (z.B. Delegation an die Gemeinden). Ist dies nicht der Fall, kommt die Regel gemäss Art. 664 Abs. 1 ZGB zum Zug (Hoheit des Territorialkantons). Es ist zu bedenken, dass Ansprüche von Privatpersonen gestützt auf alte Urkunden (vor allem Kaufverträge) angemeldet und allenfalls gerichtlich nachgewiesen werden können. Bis zum gerichtlichen Nachweis gilt die erwähnte Vermutung zuungunsten des Privateigentums an Fels- und Gletschergebieten (Bütler, 2006, S. 34 ff.).

#### 6.1.4 Fazit

Gletscherseen sind sachenrechtlich gleich zu behandeln wie Gletscher- und Felsgebiete (kulturunfähiges Land). Sie gehören als öffentliche Gewässer zu den öffentlichen Sachen im Gemeingebrauch, welche jedermann zur persönlichen (nicht kommerziellen) Benützung offenstehen. Die Eigentumsverhältnisse an Gletscher- und Felsgebieten erweisen sich als vielfältig und komplex. Zu beachten ist neben dem Sachenrecht auch die ähnliche Regelung im Wasserrecht. Grundsätzlich stehen Gletscherseen unter der Hoheit des jeweiligen Territorialkantons. Die Bergkantone können selber entscheiden, ob sie daran ein Hoheitsrecht (Bsp. Kanton Bern) oder aber ein Eigentumsrecht (öffentlich-rechtliches oder privatrechtliches Eigentum) beanspruchen. Sie können dieses Recht gestützt auf eine gesetzliche Regelung auch an die Territorialgemeinden oder andere öffentliche Körperschaften delegieren, wichtige Beispiele sind die Kantone Graubünden und Wallis. Es gilt eine Vermutung zuungunsten des Privateigentums. Kann der schwierige Eigentumsbeweis mit alten Urkunden jedoch erbracht werden, stehen Gletscher(-seen) ausnahmsweise im Eigentum von Privatpersonen, wie z.B. der Rhonegletscher (mit dem neu entstehenden See) oder die Aaregletscher (mit den vorgelagerten Stauseen). Mehrere Eigentumsstreitigkeiten in den vergangenen Jahrzehnten zeigen die praktische Bedeutung der Eigentumsfrage. Häufig geht es um wirtschaftliche (Energiewirtschaft und Tourismus), daneben auch um symbolische oder ökologische Interessen. Wer eigentums- oder hoheitsberechtigt ist, kann je nach Umständen auch haftungsrecht-

lich verantwortlich werden. Öffentlich-rechtliche Normen (z.B. aus dem Umweltrecht) gelten unabhängig von den sachenrechtlichen Verhältnissen.

## 6.2 Wer ist für den Schutz vor Gefahren verantwortlich?

### 6.2.1 Rechtsgrundlagen betreffend Schutz vor Naturgefahren

Die *Schweizerische Bundesverfassung* (BV) enthält keine eigene Bestimmung zum *Schutz vor Naturgefahren*. Nach Art. 57 Abs. 1 BV (Sicherheit) sorgen Bund und Kantone im Rahmen ihrer Zuständigkeiten für die Sicherheit des Landes und für den Schutz der Bevölkerung. Im *Polizeirecht* geht es um die Einsatzorganisation bei akuter Gefährdung. Grundsätzlich sind die Kantone für die innere Sicherheit zuständig. Die Kantone verfügen über die Polizeihoheit auf ihrem Gebiet, zu ihrem Aufgabengebiet gehört die klassische Gefahrenabwehr (Lienhard & Häsler, 2008, C Rz. 18 f.). Fehlen gesetzliche Grundlagen, sind die zuständigen Behörden aufgrund der *polizeilichen Generalklausel* bei schwerer, unmittelbarer Gefahr zu verhältnismässigen Schutzmassnahmen ermächtigt und verpflichtet (Häfelin et al., 2006, N 2'462 ff.). Zu erwähnen ist Art. 61 Abs. 2 BV (*Zivilschutz*) betreffend den Einsatz des Zivilschutzes bei Katastrophen und in Notlagen.

Der Schutz vor Naturgefahren wird in der Gesetzgebung als *öffentliches Interesse* anerkannt, aber in unterschiedlichem Masse geregelt (Hepperle, 2009, S. 155 ff.). Sektoriell finden sich in der Verfassung und gestützt darauf in Bundesgesetzen Normen zum Umgang mit Naturgefahren. Dies betrifft die Bereiche *Raumplanung* (Art. 75 BV), *Wald* (Art. 77 BV) und *Wasser* (Art. 76 BV) und die (gravitativen) Naturgefahren Lawinen, Rutschungs-, Erosions- und Steinschlaggebiete sowie Hochwasser. Keine Regelung findet sich z.B. im Zusammenhang mit Extremtemperaturen, Sturm, Hagelschlag und Erdbeben. Da durch Naturgefahren häufig Werke, d.h. Gebäude und Anlagen bzw. deren Benützer gefährdet sind, ist die *Haftung des Werkeigentümers* gemäss Art. 58 des Obligationenrechts zu nennen, auch wenn diese Bestimmung primär die Mängelfreiheit von Werken und nicht den Schutz vor Naturgefahren bezweckt. Zentral ist im Umgang mit Naturgefahren das Prinzip der *Eigenverantwortung* (Art. 6 BV), welches die Verantwortlichkeit des Staates und anderer Privatpersonen begrenzt.

Fazit: Insgesamt erweist sich der Naturgefahrenschutz im Verfassungs- und Bundesrecht als uneinheitlich und nicht zusammenhängend. Immerhin sind im Raumplanungs-, Wald- und Wasserbaurecht wichtige Grundlagen für präventive Massnahmen verankert. Das zunehmend angewendete *integrale Risikomanagement*, welchem der sog. „Risikokreislauf“ zwischen Prävention, Intervention und

Wiederaufbau zugrunde liegt, findet in den Gesetzen keine ausdrückliche Grundlage (Parlamentarische Verwaltungskontrolle, 2007, S. 13, 26 ff.). In gesetzgeberischer Hinsicht besteht somit Optimierungsbedarf.

### 6.2.2 Präventive Schutzmassnahmen mittels Raumplanung

Gemäss Art. 75 BV (Raumplanung) legt der Bund Grundsätze der *Raumplanung* fest. Diese obliegt den Kantonen und dient der zweckmässigen und haushälterischen Nutzung des Bodens und der geordneten Besiedlung des Landes. Nach Art. 6 Abs. 1 des Raumplanungsgesetzes (RPG) bestimmen die Kantone für die Erstellung ihrer Richtpläne, wie sich ihr Gebiet räumlich entwickeln soll. Die Kantone müssen feststellen, *welche Gebiete durch Naturgefahren* oder schädliche Einwirkungen *erheblich bedroht* sind (Art. 6 Abs. 2 Bst. c RPG). Neben den Bau-, Landwirtschafts- und Schutzzonen können die Kantone weitere Zonen vorsehen (Art. 14, 18 RPG), so z.B. *Gefahrenzonen*. Fels- und Gletschergebiete, d.h. kulturunfähiges Land, werden raumplanungsrechtlich in der Regel ausgeschieden und dem übrigen (Gemeinde-)Gebiet zugeordnet (Hänni, 2008, S. 195).

*Naturgefahrenkarten* sind Instrumente der Raumplanung. Sie weisen Zonen mit verschiedenen Gefahrenstufen (Ereignisse mit einer bestimmten Intensität und Wiederholperiode bzw. einem bestimmten Schadenpotenzial) aus und ermöglichen eine angepasste Raumplanung zur Vermeidung von Gefahren. In der *roten Gefahrenzone* (grosse Gefahr) besteht regelmässig Bauverbot. In der *blauen Gefahrenzone* (mittlere Gefahr) ist Bauen unter Auflagen teilweise gestattet. In der *gelben Gefahrenzone* (geringe Gefahr) gibt es in der Regel keine Baubeschränkungen, erforderlich ist die Information der Grundeigentümer. Die *gelb-weiße Zone* kennzeichnet den Bereich der Restgefährdung, in welchem Objektschutzmassnahmen bzw. (wie in allen Gefahrenzonen) eine Notfallplanung angebracht sind. Gefahrenkarten werden primär für den Siedlungsbereich erstellt; ausserhalb der Bauzonen werden meist *Gefahrenhinweiskarten* verwendet, welche eine grobe Übersicht über die Gefährdungssituation geben. *Intensitätskarten* nehmen Bezug auf Wiederkehrperioden (meist 30, 100 und 300 Jahre) und Intensität, so z.B. auf Überflutungstiefen und Fliessgeschwindigkeiten im Fall von Hochwasserlagen (Bundesamt für Raumentwicklung et al., 2005, S. 15 f.).

Es ist unumgänglich, das angestrebte Mass an Sicherheit für verschiedene Raumnutzungen mittels *Schutzzielen* zu definieren. Für Menschen und erhebliche Sachwerte werden – je nach Grösse des Schadenpotenzials – die Schutzziele höher angesetzt als bei niedrigen Sachwerten. Heikel ist die Frage, wie hoch die Schutzziele für gefährdete, abgelegene Strassen und Siedlungen sein sollen. In der sog. *Schutz-*

*zielmatrix* zur Flächenvorsorge sind die nach Objektkategorien abgestuften Schutzziele dargestellt. Zu den wichtigsten Objektkategorien gehören geschlossene Siedlungen, Industrie und Gewerbe, Infrastrukturanlagen und Sonderobjekte. Zu erwähnen sind schliesslich *projektbezogene Schutzziele* (Bundesamt für Raumentwicklung et al., 2005, S. 18 f.).

Die Kantone sind gestützt auf das Wald- und Wasserbaurecht zur Erstellung von Gefahrenkarten verpflichtet. Gefahrenhinweiskarten gehören zu den Grundlagen der kantonalen *Richtplanung*, sie sind behördenverbindlich. Gefahrenkarten dienen primär auf Stufe *Nutzungsplanung*. Der Nutzungsplan regelt die zulässige Bodennutzung parzellenscharf. Darin ausgeschiedene (direkte oder überlagernde) Gefahrenzonen sind auch für die Grundeigentümer verbindlich; möglich ist ein separater Gefahrenzonenplan (Bundesamt für Umwelt, 2007, S. 14 ff.; Bütler, 2006, S. 183 ff.; Lüthi, 2004, S. 1 ff.). Soweit Gefahren- und Gefahrenhinweiskarten vorliegen, sind diese bei der Erteilung von Baubewilligungen oder beim Entscheid über polizeiliche Massnahmen zu berücksichtigen (Sperrung von Strassen, Wanderwegen und Evakuierung von Bewohnern). Bei der Umsetzung der Gefahrenkarten muss eine risikobasierte Abwägung stattfinden (Art des Risikos, Art des Projekts, mögliche Objektschutzmassnahmen). Die Gefahrensituation ist *periodisch zu überprüfen*, und die Gefahren(hinweis)karten und -zonen sind entsprechend nachzuführen bzw. anzupassen. Es ist zu bedenken, dass das Nichtvorhandensein von Gefahrenkarten bzw. Gefahrenzonen bei ungünstigen Umständen im Einzelfall den Anschein einer täuschenden Sicherheit vermitteln kann.

Wegen möglichen Gefahren durch Gletscherseen sind im Zusammenhang mit Anlagen und Bauvorhaben je nach Situation *Hinweise von Fachpersonen, wissenschaftliche Untersuchungen, Ereigniskataster und Dokumentationen* zu beachten bzw. zu veranlassen. Das von der ETH Zürich im Jahre 2003 publizierte „*Inventar gefährlicher Gletscher in der Schweiz*“ zählt historische Schadensereignisse bei den betroffenen Gletschern auf und erwähnt potenzielle Gefahren für die kommenden 10 bis 20 Jahre (<http://glaciology.ethz.ch/glacier-hazards/>). Die *Online-Datenbank „glacier hazards“* (Geographisches Institut der Universität Zürich) veröffentlicht ebenfalls Informationen über vergangene und aktuelle (nicht aber künftig drohende) Gletscherkatastrophen bzw. Ereignisse ([www.glacierhazards.ch](http://www.glacierhazards.ch)). Es handelt sich in beiden Fällen weitgehend (ETH-Inventar) oder ganz (Online-Datenbank) um Ereigniskataster, deren stetige Aktualisierung wichtig ist. In Bezug auf die Beurteilung künftig drohender Gefahren ist hingegen Vorsicht angebracht. Es erscheint angesichts der dynamischen Entwicklungen schwierig und aus rechtlicher Sicht heikel, diese Gefahrenpotenziale in einem „Inventar“ genügend

vollständig und rechtzeitig erfassen zu wollen; dies zeigt sich gerade im Zusammenhang mit den zurzeit oder später neu entstehenden Gletscherseen.

Für die zuständigen Behörden haben die erwähnten Ereigniskataster informativen, empfehlenden Charakter. Die Behörden dürfen sich jedoch nicht allein auf diese Datenquellen stützen. Soweit die im „Inventar“ bzw. in der Online-Datenbank erwähnte Gefahrenlage aktuell ist, sind die Erkenntnisse entsprechend zu berücksichtigen, z.B. für die Gefahrenkarten und bei der Beurteilung der Zulässigkeit von Bauprojekten (Bütler, 2006, S. 186 ff.). Im Einzelfall dürften *weitergehende, spezielle Abklärungen* zu künftig drohenden Gletschergefahren, welche sich auf Szenarien stützen, unumgänglich sein. Die Erfassung drohender Gefahren, infolge des Klimawandels auch jenseits historischer Erfahrung, erfordert eine Szenarienmodellierung und integrale Betrachtung der fortschreitenden Systemveränderungen, z.B. kumulative Entwicklungen wie Gletscherschwund oder Permafrostdegradation (siehe die Empfehlungen der GAPHAZ [Glacier and Permafrost Hazards in Mountains]<sup>1</sup>).

### 6.2.3 Präventiver Naturgefahrenschutz im Wald- und Wasserbaurecht

Das Wald- und Wasserbaurecht streben beide raumangepasste Lösungen an. Art. 77 Abs. 1 BV (Wald) verlangt vom Bund zu gewährleisten, dass der *Wald* seine Schutz-, Nutz- und Wohlfahrtsfunktionen erfüllen kann. Art. 19 des Waldgesetzes (WaG) verpflichtet die Kantone, die *Anrissgebiete von Lawinen sowie Rutsch-, Erosions- und Steinschlaggebiete zu sichern* und für den *forstlichen Bachverbau* zu sorgen, wo es der Schutz von Menschen oder erheblichen Sachwerten erfordert. Die Kantone haben für diese Massnahmen möglichst naturnahe Methoden anzuwenden. Für den Schutz vor Naturereignissen gewährt der Bund erhebliche finanzielle Beiträge (Art. 36 WaG), z.B. für Schutzbauten und -anlagen, für die Schaffung von Wald sowie für die Erstellung von Gefahrenkatastern und Gefahrenkarten, für Messstellen sowie Frühwarndienste zur Sicherung von Siedlungen und Verkehrswegen. Ob ein Projekt überhaupt subventionsberechtigt ist, beurteilt sich nach der Art des Naturprozesses, des Schadenpotenzials, der Risiken und der möglichen Risikoreduktion. Die Höhe der Abgeltungen durch den Bund beträgt 35–45 %, allenfalls bis zu 65 % (je nach anerkannten Mehrleistungen, Art. 39 Waldverordnung). Sie richtet sich nach der Gefährdung durch Naturereignisse, nach den

---

<sup>1</sup> [www.mn.uio.no/geo/englisch/research/groups/remotesensing/projects/gaphaz/recommendations](http://www.mn.uio.no/geo/englisch/research/groups/remotesensing/projects/gaphaz/recommendations)

Kosten und der Wirksamkeit der Massnahmen. Die Waldverordnung (WaV) verpflichtet die Kantone, die Gefahrenkataster und Gefahrenkarten bei allen raumwirksamen Tätigkeiten, insbesondere in der Richt- und Nutzungsplanung, zu berücksichtigen (Art. 15 Abs. 3 WaV). Art. 16 und Art. 17 WaV enthalten nähere Regelungen zu den Frühwarndiensten und zur Sicherung von Gefahrengebieten mittels integraler Planung (z.B. Rutschhang- und Rufenverbau, Steinschlag- und Felssturzverbauungen).

Gemäss Art. 76 Abs. 1 BV (Wasser) sorgt der Bund im Rahmen seiner Zuständigkeiten unter anderem für die *Abwehr schädigender Einwirkungen des Wassers*. Das Wasserbaugesetz (WBG) dient insbesondere dem Schutz von Menschen und erheblichen Sachwerten vor Überschwemmungen, Erosionen und Feststoffablagerungen (Art. 1 WBG). Der Hochwasserschutz ist Aufgabe der Kantone, welche diesen in erster Linie durch den *Unterhalt der Gewässer* und durch *raumplanerische Massnahmen* gewährleisten. Sofern dies nicht ausreicht, müssen Massnahmen wie *Verbauungen, Eindämmungen, Korrekturen, Geschiebe- und Hochwasserrückhalteanlagen* sowie alle weiteren Vorkehrungen, die Bodenbewegungen verhindern, getroffen werden (Art. 2 und Art. 3 WBG). Baulich-technische Massnahmen kommen in Betracht, wenn eine Nutzung in gefährdeten Gebieten bereits besteht oder sofern die Nutzung in einem Gefahrengebiet gestützt auf eine Interessenabwägung erforderlich ist (Bundesamt für Raumentwicklung et al., 2005, S. 12). Nach dem WBG sollen die Gewässer zum Hochwasserschutz primär *ausreichend Raum* haben (Hepperle, 2008, S. 62).

Gewässer, Ufer und Werke müssen so unterhalten werden, dass der vorhandene Hochwasserschutz, insbesondere die Abflusskapazität, erhalten bleibt. Bei Eingriffen in das Gewässer muss dessen *natürlicher Verlauf* – auch zum Schutz der Tier- und Pflanzenwelt – möglichst beibehalten oder wiederhergestellt werden (Art. 4 WBG). Bei interkantonalen Gewässern koordinieren die Kantone ihre Massnahmen und verständigen sich über die Aufteilung der Kosten (Art. 5 Abs. 1 WBG). Der Bund beaufsichtigt den Vollzug des Gesetzes durch die Kantone (Art. 11 Abs. 2 WBG). Massnahmen, die eine Umweltverträglichkeitsprüfung erfordern oder welche Naturschutzgebiete von nationaler Bedeutung berühren, müssen dem Bund in jedem Falle zur Stellungnahme unterbreitet werden (Art. 16 Abs. 2 Wasserbauverordnung). Eine *Umweltverträglichkeitsprüfung* ist z.B. für Werke zur Regulierung des Wasserstandes oder des Abflusses von natürlichen Seen, für kostspielige wasserbauliche Massnahmen und für bedeutsame Schüttungen in Seen erforderlich (Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung, siehe Anhang, Kap. 3 zum Wasserbau).



Die Wasserbauverordnung (WBV) regelt in Art. 21–25 die Details zum *Vollzug durch die Kantone*. Diese haben die Gefahrengebiete zu bezeichnen und den *Raumbedarf der Gewässer* im Hinblick auf den Hochwasserschutz und die natürlichen Funktionen der Gewässer festzulegen. Sie haben dies in ihrer Richt- und Nutzungsplanung zu berücksichtigen. Die Kantone überprüfen periodisch die Gefahrensituation an den Gewässern und die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen des Hochwasserschutzes. Sie sorgen für den im Interesse des Hochwasserschutzes gebotenen Unterhalt der Gewässer. Dabei haben sie ökologischen Anforderungen Rechnung zu tragen. Zur Sicherung von Siedlungen und Verkehrswegen vor den Gefahren des Wassers müssen Frühwarndienste aufgebaut und betrieben werden. Der Bund gewährt *Subventionen* für Schutzmassnahmen, die auf einer zweckmässigen Planung beruhen, die gesetzlichen Anforderungen erfüllen und ein gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen (Art. 6–10 WBG). Kriterien für die Beiträge sind das Gefahren- und Schadenpotenzial, die Umsetzung einer umfassenden Risikobetrachtung (eine der Gefährdung angepasste Nutzung) sowie Umfang und Qualität der Massnahmen. *Keine Abgeltungen* werden für Neubauten in erheblich gefährdeten Gebieten gewährt; ebenso wenig für Massnahmen zum Schutz touristischer Bauten und Anlagen wie Seilbahnen, Skilifte, Skipisten oder Wanderwege, die sich ausserhalb des Siedlungsgebietes befinden (Art. 2 WBV, Art. 39 WaV); anders dürfte die Lage zu beurteilen sein, wenn der Schutz auch Siedlungsgebieten zugutekommt. Der Bund sorgt für die Grundlagenbeschaffung betreffend die Belange des Hochwasserschutzes und die hydrologischen Verhältnisse und erlässt fachtechnische Weisungen (Art. 13 WBG). Die Kantone haben insbesondere Gefahrenkataster und Gefahrenkarten zu erstellen (Art. 27 Abs. 1 Bst. b, c WBV). Art. 17 WBG gibt den Kantonen das Recht zur *Enteignung*, soweit dies zum Vollzug ihrer Aufgaben im Hochwasserschutz nötig ist.

## 6.2.4 Sicherungspflichten der Behörden

### *Integrales Risikomanagement*

Das *integrale Risikomanagement* verlangt von den territorial betroffenen bzw. zuständigen Behörden ein planmässiges Vorgehen im Umgang mit Naturgefahren und Risiken. Es sind Gefahren- und Risikoanalysen sowie Risikobewertungen zu sämtlichen Naturgefahren vorzunehmen. Das integrale Risikomanagement ist *gesetzlich nicht ausdrücklich vorgesehen*, wird aber von der Nationalen Plattform Naturgefahren (PLANAT) als Grundlage für die Strategien im Umgang mit Naturgefahren verwendet und in der Literatur anerkannt. Zudem sind Teilaspekte des

integralen Risikomanagements in die Wald- und Wassergesetzgebung eingeflossen (Bütler, 2006, S. 177 f.; Govoni, 2008, S. 103 ff.; Hepperle, 2011, S. 1 ff.; Nationale Plattform Naturgefahren, 2004, S. 23 ff.). Während früher ein rein technischer Hochwasserschutz praktiziert wurde, soll der Hochwasserschutz nun primär mittels Unterhalt und raumplanerischer Massnahmen, sekundär mittels baulich-technischer Massnahmen gewährleistet werden. Im Sinne des integralen Risikomanagements haben Kantone und Gemeinden zumutbare Massnahmen der Prävention, der Bewältigung (Intervention) und der Wiederinstandstellung zu ergreifen. So können (nach Objektkategorien abgestufte) *Schutzziele* festgelegt, die Risiken reduziert und der Umgang mit dem Restrisiko (Schutzdefizite) angegangen werden. Geschlossene Siedlungen, Industrie und Gewerbe, wichtige Infrastrukturanlagen und Sonderobjekte sind besonders schutzwürdig (Bundesamt für Raumentwicklung et al., 2005, S. 18).

### *Rolle von Bund, Kantonen und Gemeinden*

Weist ein bestehender oder neu entstehender Gletschersee Potenzial für gefährliche Ereignisse wie Flutwellen, Überschwemmungen, Murgänge auf, so müssen die für den Umgang mit Naturgefahren zuständigen *Behörden aktiv werden*. Welche Behörde im Einzelfall *zuständig* ist, ergibt sich aus dem *Bundesrecht* (Wald- und Wasserbaurecht, Bevölkerungs- und Zivilschutz) und dem *kantonalen bzw. kommunalen Recht* der betroffenen Bergkantone. Es ist wichtig festzuhalten, dass der Bund nur zuständig ist, wenn ihm der Verfassungsgeber eine bestimmte Aufgabe übertragen hat (vgl. Art. 3 BV). Die Zuständigkeitsfragen sind komplex und hängen von der jeweiligen Aufgabe ab (raumplanerische, wasserbauliche, polizeiliche bzw. organisatorische Massnahmen). Dies erschwert den Umgang mit Naturgefahren. Gute *Koordination und Kooperation* unter den verschiedenen Fachstellen sind somit unerlässlich.

Für den Vollzug der verschiedenen Massnahmen ist im *Verhältnis Kanton – Gemeinden* das jeweils anwendbare *kantonale und kommunale Recht* der betroffenen Gemeinwesen massgeblich. Die Gemeinden im Einzugsgebiet eines Gewässers sind zur *Zusammenarbeit* mit dem Kanton verpflichtet, besonders im Bereich Raumplanung. Rein innergemeindliche Planungen bilden die Ausnahme. Die Kantone müssen die Zusammenarbeit mit den Gemeinden durch entsprechende Verfahrensvorschriften gewährleisten (Hepperle, 2008, S. 53). Soweit planerische Massnahmen nicht ausreichen, sind Schutzbauten bzw. Eingriffe in die Gewässer durch die Kantone bzw. die Gemeinden zu projektieren und auszuführen. Genügende *Sicherheitsdispositive inkl. Notfallplanung* (Warnung, Alarmierung, Rettung,

Schadenabwehr) sind durch Kantone und Gemeinden zu gewährleisten. Viele Gemeinwesen sehen dazu sog. Führungsstäbe vor, welche im Ereignisfall intervenieren sollen.

### *Sicherheitskonzept, Warnung und Alarmierung bei akuten Naturgefahren*

Wie erwähnt, sind Bund und Kantone nach Art. 57 BV (Sicherheit) verpflichtet, im Rahmen ihrer Zuständigkeiten in koordinierter Weise für den Schutz der Bevölkerung zu sorgen. Zu einer ausreichenden, nach dem integralen Risikomanagement erforderlichen Notfallplanung gehören die „Sensibilisierung der Bevölkerung, eine gute Ausbildung der Krisenstäbe, welche die Schwachstellen der baulichen Sicherheitskonzepte vor Ort kennen sowie optimal vorbereitete Wehrdienste mit den nötigen Einsatzmitteln.“ (Bundesamt für Umwelt, 2007, S. 43 f.). In der vorliegenden Untersuchung wird darauf verzichtet, die aufgrund der föderalistischen Struktur zersplitterten rechtlichen Grundlagen zur Notfallplanung sowie zur Ausbildung und Organisation von Feuerwehr, Polizei, Sanität, Zivilschutz, technischen Diensten und Krisenstäben näher darzustellen.

Hingegen sollen die revidierten Regeln in der Alarmierungsverordnung (AV) zur *Warnung und Alarmierung* im Rahmen des Bevölkerungsschutzes skizziert werden (Govoni, 2011, S. 45–50). Vorweg ist festzuhalten, dass jede Person verpflichtet ist, die Alarmierungsanordnungen und Verhaltensanweisungen zu befolgen. Hauseigentümer müssen für die Vorbereitung und den Vollzug der ihnen vorgeschriebenen Massnahmen sorgen (Art. 29 und Art. 30 des Bevölkerungs- und Zivilschutzgesetzes). Gefahren sind den zuständigen Stellen des Bundes, der Kantone und der Gemeinden möglichst frühzeitig zu melden. Für diese Meldungen sind je nach Naturgefahr verschiedene Fachstellen zuständig, so für gefährliche Wetterereignisse das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz), für Hochwasser und damit verbundene Rutschungen das Bundesamt für Umwelt etc. (Art. 2 und Art. 9 AV).

Im Zusammenhang mit Gletscherseen, deren Existenz stark von der spezifischen topografischen Situation abhängt, stehen allerdings Meldungen bzw. Warnungen durch lokale bzw. kantonale Behörden im Vordergrund. Je nach Umständen genügt eine Zusammenarbeit dieser Behörden bzw. ist mit den Fachstellen des Bundes Kontakt aufzunehmen (vgl. dazu Art. 9 Abs. 4 und 5 AV). Für die Fachstellen des Bundes gilt nach Art. 10 AV für die Warnungen vor Naturgefahren eine fünfstufige Gefahrenskala (keine oder geringe Gefahr, mässige Gefahr, erhebliche Gefahr, grosse Gefahr und sehr grosse Gefahr). Bei Wasseralarm muss die Bevölkerung

das gefährdete Gebiet sofort verlassen (Art. 14 Abs. 4 AV). Die Kantone sorgen für die Alarmierungsplanung (Art. 17 Abs. 1 AV).

### *Hinweise, Abklärungen und Einschätzung betreffend Gefahrenlage*

Aus dem kantonalen und kommunalen Recht ergibt sich die für Naturgefahren *zuständige kantonale bzw. lokale Behörde*; bei Aufgabenteilung können es auch mehrere Behörden sein. Macht diese Behörde betreffend Gefahren durch Gletscherseen eigene Beobachtungen oder erhält sie glaubwürdige Warnungen oder Hinweise (z.B. von Fachexperten, Wandernden), muss sie diese *Informationen* schriftlich festhalten und rechtzeitige, angemessene *Abklärungen* durchführen. Auch andere Behörden sind verpflichtet, Hinweise und Warnungen an die zuständige Stelle weiterzuleiten (vgl. z.B. Art. 17 Abs. 4 AV). Abklärungen und Einschätzungen zur Gefährdung, welche von einem Gletschersee ausgeht, sind anspruchsvoll und erfordern Fachwissen. Der Beizug von Experten wie Glaziologen, Geologen oder Hydrologen dürfte in der Regel unumgänglich sein. Zu berücksichtigen sind jedoch die finanziellen Möglichkeiten des verantwortlichen Gemeinwesens. Die Abklärungen durch Experten sollen die *Art, das Ausmass und die Wahrscheinlichkeit der Gefährdung* durch ein mögliches Gletscherhochwasser auf der Grundlage der neusten wissenschaftlichen Erkenntnisse aufzeigen.

Erforderlich sind eine *Gefahren- und eine Risikoanalyse* (Frage: was könnte passieren?); sodann ist eine *Risikobewertung* vorzunehmen und zu entscheiden, welches *Restrisiko* tragbar bzw. unausweichlich ist (Frage: was darf passieren?). Zu bedenken ist, dass *absolute Sicherheit und Gewissheit betreffend Naturgefahren bzw. Risiken weder theoretisch noch praktisch möglich* sind; der rechtliche Massstab an den Staat darf sich nicht danach richten. Fragwürdig sind deshalb z.B. Schutzziele, welche von den betroffenen Behörden im Bereich geschlossener Siedlungen für Hochwasserereignisse mit einer Wiederkehrdauer von 100 Jahren einen *vollständigen Schutz* verlangen. Die involvierten Behörden haben ihre Aufgaben jedoch sorgfältig unter Berücksichtigung der rechtlichen Vorgaben und der verschiedenen öffentlichen Interessen wahrzunehmen. Zu erörtern ist, welche *Restrisiken* jeweils in Kauf genommen werden können bzw. müssen (zum Ganzen: Bundesamt für Raumentwicklung et al., 2005, S. 15, 19; Bütler, 2006, S. 177 f.; Schweizer et al., 2008, Rz. 1 ff., 23 ff., 28 f.; Sutter, 2009, S. 175 ff.).

### *Raumplanerische, bauliche und polizeiliche Schutzmassnahmen*

*Schutzziele* und *Massnahmen* hängen von den *Schutzgütern* (Leib und Leben, erhebliche Sachwerte) und deren Verletzlichkeit sowie massgeblich von den *örtli-*

*chen Gegebenheiten* ab (örtlich differenzierte Schutzziele). Sie sind mit Blick auf verfassungsrechtliche Grundsätze wie *Recht auf Leben und auf persönliche Freiheit* (Art. 10 BV), *Rechtsgleichheit* (Art. 8 BV), *Verhältnismässigkeit* (Art. 5 Abs. 2 BV), *Eigenverantwortung* (Art. 6 BV), *Niederlassungsfreiheit* (Art. 24 BV), *Eigentumsgarantie* (Art. 26 BV), *Sicherheit* (Art. 57 BV) und *Nachhaltigkeit* (Art. 73 BV) festzulegen. Die verschiedenen verfassungsmässigen Aufträge sind dabei als gleichwertig zu behandeln (Bundesgerichtsentscheid [BGE] 128 II 1 ff. E. 3d), z.B. Anliegen zu *Wirtschaftsfreiheit* (Art. 27 BV), *Militär* (Art. 58–60 BV), *Umweltschutz* (Art. 74 BV), *Raumplanung* (Art. 75 BV), *Gewässerschutz* (Art. 76 Abs. 3 BV), *Wald* (Art. 77 BV), *Natur- und Heimatschutz* (Art. 78 BV) sowie *Fischerei* (Art. 79 BV) und *Energie* (Art. 89 BV). Nach der Rechtsprechung müssen die *verschiedenen Gesetzgebungen* (z.B. RPG und WBG) *koordiniert angewendet* werden (BGE 115 Ib 472 ff. E. 2b; Hepperle, 2008, S. 18 bzw. S. 62); zur Berücksichtigung verschiedener Interessen mittels integraler Planung vgl. Art. 17 Abs. 3 WaV. Gestützt auf die fachtechnischen Abklärungen haben die zuständigen Behörden *situationsangepasste Massnahmen* kombiniert oder einzeln zu ergreifen. Massgeblich ist die *konkrete Gefahrenlage im Einzelfall*, insbesondere auch die zeitliche *Dringlichkeit* von Massnahmen. Faktisch bedeutsam ist, ob Schutzmassnahmen die *Kriterien für Bundessubventionen* erfüllen (gemäss Wald-, Wasserbau- und Subventionengesetz). Ist die Gefahr eines Gletscherhochwassers potenziell vorhanden, aber noch nicht akut, stehen *präventive Schutzmassnahmen* zur Vermeidung bzw. Reduktion von Schäden im Vordergrund: so die Information der Bevölkerung, Erstellung bzw. Nachführung von Gefahrenkarten bzw. Gefahrenhinweiskarten (ausserhalb der Bauzonen) und die Anpassung der Richt- und Nutzungsplanung. Weiter sind zu nennen: spezielle Anforderungen an Baubewilligungen, Nutzungsbeschränkungen, Planungszonen, Überprüfen der Gefahrensituation durch Experten, Einrichtung von Messstellen, Unterhalt des Gletschersees bzw. des daraus entspringenden Gewässers etc. Ist voraussehbar, dass die Gefahrensituation sich schrittweise zuspitzen wird, müssen allenfalls auch bauliche Massnahmen in Betracht gezogen werden, um einem gefährlichen Ereignis rechtzeitig und wirksam vorzubeugen. Es ist zu empfehlen, *Freihalteräume* auszuscheiden und zu sichern: dies gilt für Rückhalteflächen, Geschiebeablagerungsräume, Auslaufgebiete für Abflusskorridore, Gewässerläufe und den Uferbereich von Fliessgewässern (Bundesamt für Raumentwicklung et al., 2005, S. 12).

Ist ein Seeausbruch bzw. ein Gletscherhochwasser mit gefährlichen Folgen in naher Zukunft zu befürchten, sind zur Sicherung von Siedlungen, Strassen und Wanderwegen (sog. Verkehrssicherungspflichten) Frühwarndienste einzurichten und die Überwachungsmassnahmen zu verstärken. Es ist mithilfe von Fachleuten (der

Glaziologie, Hydrologie, Geologie, Naturschutz, Energie, Tourismus) abzuklären, *ob und welche baulichen Massnahmen* nötig sind und im öffentlichen Interesse liegen. Zu erwähnen sind Abflussstollen, Verbauungen, Eindämmungen, Korrekturen, Geschiebe- und Hochwasserrückhalteanlagen. Erforderlich ist eine *umfassende Interessenabwägung*, welche raumplanerische, wirtschaftliche und ökologische Anforderungen berücksichtigt. Zu sichern ist auch der künftige Unterhalt des Bauwerks (vgl. Art. 6 Abs. 2 Bst. a WBG, Art. 1 Bst. f WBV).

### *Baubewilligungen und Nutzungsbeschränkungen in Gefahrengebieten*

Heikel sind *Baubewilligungen für neue Werke im gefährdeten Bereich* (wegen Hochwasser-, Rutsch-, Lawinen- und Steinschlaggefahr). Bauliche Massnahmen erfordern eine Baubewilligung (Art. 22 RPG) bzw. ausserhalb der Bauzonen eine Ausnahmbewilligung (Art. 24 RPG) oder eine Sondernutzungsplanung. Die Baubehörde muss mit der Bewilligung sicherstellen, dass sämtliche raumplanungsrechtlichen Aspekte des Bundesrechts sowie die kantonalen Vorschriften eingehalten werden. Dazu gehören insbesondere auch die kantonalen Normen zum *Schutz polizeilicher Rechtsgüter* (Leib und Leben, Sicherheit, Gesundheit); fehlen solche, kann bei schwerer, unmittelbarer Gefahr auf die Polizeigeneralklausel zurückgegriffen werden (dazu Art. 36 Abs. 1 Satz 3 BV). Die *Gefahrenabwehr* ist eine zentrale staatliche Aufgabe. Die präventive Gefahrenabwehr ist bedeutsam, insbesondere wenn das Gemeinwesen einen Gefahrenzustand selbst schafft (z.B. durch Errichtung eines Wanderweges), welcher Drittpersonen schädigen könnte (Gefahrensatz). Der Aspekt der Sicherheit spielt bei der Bewilligungserteilung deshalb stets eine Rolle. In *Zonen mit hoher Gefahr* dürfen für (Wohn-)Bauten, welche dem Aufenthalt von Menschen dienen – aus polizeirechtlichen Gründen – grundsätzlich keine Baubewilligungen erteilt werden. Bei der Umsetzung der Gefahrenkarten bzw. der Berücksichtigung der Gefahrenstufen muss jedoch eine risikobasierte Abwägung stattfinden, die u.a. auf die Art der Gefährdung (erwartete Intensitäten, Eintretenswahrscheinlichkeit, massgebender Prozess), die Art der Bauvorhabens, die möglichen Objektschutzmassnahmen usw. Rücksicht nimmt. Für andere Fälle, z.B. *standortgebundene Infrastrukturanlagen* wie Strassen, Seilbahnen oder Wanderwege, ist eine Risikobewertung erforderlich (Urteil des Bundesgerichts 1A.125/2000 vom 23. August 2000 E. 4; Sobotich, 2000, S. 33 f.). Gefahren(hinweis)karten, Gefahrenzonen oder den Behörden anderweitig bekannte Gefahren sind beim Entscheid zu berücksichtigen.

Bei *bestehenden Werken* (Gebäude, Strassen, Wanderwege) stellt sich die Frage, ob die zuständigen Baubehörden *Nutzungsbeschränkungen* zu erlassen haben. Bei-

spiele sind nachträgliche (evtl. saisonale) Nutzungsbeschränkungen und Verbote, die dem Eigentümer vom Gemeinwesen auferlegt werden. Bevor ein *Nutzungsverbot* erlassen wird, sind zuerst mildere Massnahmen wie Frühwarnsystem, Sperrungen und Evakuierungen, Nutzungsbeschränkungen, Objektschutzmassnahmen oder auch technische bzw. bauliche Massnahmen und schliesslich Umsiedlungen zu prüfen.

Gemäss Art. 26 Abs. 2 BV werden Enteignungen und Eigentumsbeschränkungen, welche einer Enteignung gleichkommen, voll entschädigt. Die komplexe Frage, inwiefern Eigentumsbeschränkungen zum Schutz vor Naturgefahren wegen sog. *materieller Enteignung* zu *entschädigen* sind, soll kurz gestreift werden. Im Übrigen ist auf die Literatur zu verweisen (Govoni, 2008, S. 113 f.; Hepperle, 2008, S. 66 ff.; Waldmann, 2009, S. 159 ff. [zur Rechtsprechung]). Zu unterscheiden sind folgende *Fallkonstellationen*: erstens die Erstellung von Gefahrenkarten und Gefahrenkatastern, zweitens Nutzungsverbote und -beschränkungen für unüberbaute Grundstücke (innerhalb und ausserhalb der Bauzone) sowie drittens Nutzungsverbote und -beschränkungen für bestehende Bauten und Anlagen (innerhalb und ausserhalb der Bauzone). Nach der Rechtsprechung müssen *rein polizeilich motivierte Eigentumsbeschränkungen*, die dem Schutz des Eigentümers selbst vor Naturgefahren dienen, von diesem grundsätzlich *entschädigungslos* hingenommen werden (z.B. Urteil des Bundesgerichts vom 7. Januar 2003, 1P.421/2002, E. 2). Eine *Entschädigungspflicht* des Staates ist jedoch nicht auszuschliessen, wenn es z.B. um den Schutz anderer Grundeigentümer bzw. zur Sicherstellung öffentlicher erheblicher Sachwerte geht (Waldmann, 2009, S. 169, 172). Bei einem Grundstück in der Bauzone, welches nach einem Murgang oder Hochwasser (faktisch) unüberbaubar geworden ist, stellt sich die Frage, ob die Enteignungsentschädigung nach dem Wert von Landwirtschaftsland oder von Bauland zu bemessen ist (Urteil des Bundesgerichts vom 15. Februar 2007, 1P.855/2006, E. 3 und Urteil vom 9. November 2011, 2C 461/2011, Hochwasser August 2005, Brienz).

### *Intervention*

Sofern die lokalen Krisenstäbe, Polizei und weitere Einsatzkräfte im *Ereignisfall* rechtzeitig aufgeboden werden, können sie durch Massnahmen der *Intervention* viele drohende Schäden vermeiden oder vermindern. Je nach Bedrohungslage, vor allem bei *grosser unmittelbarer Gefahr*, ist die betroffene Bevölkerung rechtzeitig zu *informieren und zu alarmieren*. Sodann sind gefährdete Wanderwege und Verkehrsverbindungen zu *sperren*, Campingplätze zu schliessen, Personen und Tiere zu *evakuieren*, provisorische Schutzvorrichtungen (z.B. gegen Hochwasser) zu

erstellen oder kritische Engpässe an Fliessgewässern von Geschiebe und Schwemmholz freizuhalten. Wichtig ist es, die Freisetzung gefährlicher Stoffe (sog. Störfälle, z.B. in Industriearealen) zu verhindern. Bei rechtzeitiger Warnung können die betroffenen Privatpersonen einen Teil ihrer Wertsachen in Sicherheit bringen, ohne sich dadurch selber zu gefährden (Bundesamt für Umwelt, 2007, S. 44). Die Themen der *Instandstellung* und des *Wiederaufbaus* werden vorliegend weggelassen.

### *Hinweise zu Sicherheitsfragen im Zusammenhang mit Wanderwegen*

*Wanderwege*, vor allem *Bergwanderwege* und *Alpinwanderwege* befinden sich häufig im Einzugsbereich von Gletscherbächen und damit auch im potenziellen Gefahrenbereich von Gletscherseen. Gemäss Art. 6 Abs. 1 des Fuss- und Wanderweggesetzes (FWG, gestützt auf Art. 88 BV) sorgen die Kantone dafür, dass Fuss- und Wanderwege angelegt, unterhalten und gekennzeichnet werden und dass diese frei und *möglichst gefahrlos begangen* werden können. Dadurch werden jedoch keine speziellen *Verkehrssicherungspflichten* begründet. Es gelten die Vorgaben und Kriterien der Werkeigentümerhaftung (Art. 58 OR) und des *Gefahrensatzes*: Wer eine gefährliche Tätigkeit ausführt oder einen Gefahrenzustand schafft, ist verpflichtet, die zur Vermeidung eines Schadens erforderlichen und zumutbaren Vorsichts- und Schutzmassnahmen zu treffen (dazu auch Art. 11 Abs. 2 Bst. d des Strafgesetzbuchs). Im Besonderen sind für Wanderwege die verbindlichen Definitionen zu den verschiedenen *Wanderwegkategorien* sowie die *Richtlinien und Empfehlungen von Bundesämtern, Wanderweg-Fachstellen und -Fachorganisationen* massgeblich (Näheres zu Wanderwegen bei: Bundesamt für Strassen & Schweizer Wanderwege 2008 und 2009; Bütler, 2009, S. 106–124; Portner, 1996, S. 1 ff.).

Die Kategorien *Wanderwege, Bergwanderwege und Alpinwanderwege* und die damit verbundenen Anforderungen an die Benutzer werden in der verbindlichen Schweizer Norm 640 829a (Signalisation Langsamverkehr) definiert (gemäss Art. 115 Abs. 1 der Signalisationsverordnung und Art. 2 Bst. j der Verordnung des UVEK über die auf die Signalisation von Strassen, Fuss- und Wanderwegen anwendbaren Normen). Für den *Bau, den Unterhalt und die Signalisation der Wanderwege* sind je nach kantonalem und kommunalem Recht die Kantone, die Gemeinden oder kantonale Fachorganisationen (meist Vereine, welche vor allem die Signalisation der Wege einrichten und kontrollieren) zuständig; teilweise werden diese Aufgaben auch an Dritte delegiert (SAC-Sektionen, Private). Wer für allfällige *Mängel oder Unterlassungen* haftungsrechtlich verantwortlich ist, hängt von



den Umständen im Einzelfall und von den jeweiligen Haftungsgrundlagen ab (z.B. Werkeigentümerhaftung oder Haftung aus Vertrag).

Beim *Bau eines Wanderwegs* müssen bekannte oder wahrscheinliche *Gefahrenstellen* so weit wie möglich *vermieden oder umgangen werden*; es sind alternative Wegverläufe zu prüfen. Wanderwege sind standortgebundene Infrastrukturanlagen, welche dem Durchgang dienen und weniger hohen Sicherheitsanforderungen genügen müssen als Gebäude. Ob der Bau eines Wanderwegs, der durch gefährliche Zonen führt (Naturgefahren wie Hochwasser, Rutschungen, Murgänge und Steinschlag), bewilligt werden darf, hängt nach dem Prinzip der Verhältnismässigkeit von der jeweiligen *Risikobewertung im Einzelfall* ab (Sobotich, 2000, S. 33 f.). Der *Wegunterhalt* besteht aus dem laufenden und dem periodischen Unterhalt. Grundsätzlich sind Wanderwegverantwortliche wie Behörden, kantonale Wanderweg-Organisationen oder der Schweizer Alpen Club verpflichtet, die Signalisation und das Wegnetz mindestens einmal jährlich zu kontrollieren. Nach heftigen Unwettern oder beim Vorhandensein von Naturgefahren sind zusätzliche Kontrollen innert angemessener Frist erforderlich.

Bei Wanderwegen spielt die *Eigenverantwortung der Wandernden* eine zentrale Rolle. So müssen Wandernde mit verschiedenartigen Hindernissen und Risiken rechnen. Darunter fallen typische Geländeschwierigkeiten, Sturz- und Absturzgefahr (z.B. auf rutschigen Steinplatten). Zu erwähnen sind das Risiko vereinzelter Steinschläge, beschädigter Wege nach Naturereignissen und schwieriger Wetterverhältnisse (Wetterumschwung). Die Eigenverantwortung der Wandernden bezieht sich auf die situationsangepasste Wahl von Wanderziel und -route sowie der Wanderwegkategorie und auf die geeignete Ausrüstung. Die Eigenverantwortung endet dort, wo Wandernde mit *fallenartigen Gefahren* konfrontiert werden, die den zuständigen Wegverantwortlichen bekannt sind (Voraussehbarkeit). Fallenartig bedeutet, dass Wandernde eine erhebliche Gefahr auch bei genügender Aufmerksamkeit nicht oder nicht rechtzeitig zu erkennen vermögen. Zudem muss es den Wegverantwortlichen zumutbar sein, diese Hindernisse oder Gefahren innert angemessener Frist zu beseitigen (z.B. Instandstellung beschädigter Anlagen) bzw. davor zu warnen.

Die *Zumutbarkeit von Schutzmassnahmen* hängt von Kenntnis, Art und Ausmass des (drohenden) Schadens ab. Weiter ist von Bedeutung, wie gross das zu betreuende Wegnetz ist und wie die logistischen, personellen und finanziellen Ressourcen der Wegverantwortlichen im Einzelfall ausgestaltet sind. Erweisen sich Schutzmassnahmen als unverhältnismässig, müssen allfällige Schäden von den Wandernden selbst getragen werden. Diese haben besonders im alpinen und hochalpinen Gelände mit punktuellen Wegbeschädigungen infolge von bzw. unmittel-

bar nach Naturereignissen (z.B. Gletscherhochwasser) zu rechnen und müssen sich entsprechend vorsichtig verhalten.

Gefährdet ein *Gletschersee* einen unterhalb befindlichen Wanderweg (*drohendes Gletscherhochwasser*), haben die Behörden bei unklarer Lage Fachleute (z.B. Glaziologen, Geologen oder Hydrologen) beizuziehen. Je nach Gefährdungslage sind *zumutbare präventive Massnahmen* so bald wie möglich zu ergreifen bzw. zu veranlassen. Beispiele für Massnahmen sind die Information der Bevölkerung über verschiedene Medien, das Aufstellen von Warn- bzw. Gefahrensignalen (nur so lange wie nötig) und von Mess- und Frühwarnsystemen (Bsp. Triftgletscher bei Gadmen/BE; vgl. [www.trift.ch](http://www.trift.ch) und <http://glaciology.ethz.ch/inventar/download/triftBE.pdf>), die Absperrung bzw. Umleitung eines Wegabschnitts oder ausnahmsweise zusätzliche bauliche Massnahmen. Im Zusammenhang mit Gletscherseen kann sich in extremen Fällen – wenn Siedlungsgebiete oder wichtige Strassen gefährdet werden – die Frage stellen, ob *massive Bauvorhaben* nötig sind. Zu nennen sind künstliche bzw. unterirdische Abflussstollen, Wasserfassungen oder Staudämme. Ein bekanntes Beispiel bildet der Gletschersee beim Unteren Grindelwaldgletscher (BE). Für die Entwässerung des Sees (primär zum Schutz des Siedlungsgebiets) wurde ein gut 2 km langer Stollen gebaut (vgl. [www.gletschersee.ch](http://www.gletschersee.ch)). In der *Interessenabwägung* stehen neben der Sicherheit die Kriterien der Verhältnismässigkeit (Eignung, Kosten etc.) und der ökologischen Verträglichkeit (Landschafts- und Gewässerschutz) im Vordergrund.

Hat ein Gletscherhochwasser *bereits Schäden angerichtet*, müssen diese von den Behörden bzw. Wegverantwortlichen innert angemessener Frist festgestellt und beseitigt werden. Allfällige Wegsperrungen müssen gut sichtbar und nur solange wie nötig angebracht sein (Bänder, Abschränkungen, Abdeckung der Wegweiser, Warntafeln). Entscheidend sind jeweils die konkreten Umstände im Einzelfall.

### *Spezielle Sorgfaltspflichten beim Betrieb von Stauanlagen*

Bedeutsam können im Zusammenhang mit Gletscherseen die speziellen Pflichten für *Betreiber von Stauanlagen* sein; diese ergeben sich aus dem Bundesgesetz über die Wasserbaupolizei bzw. der Verordnung über die Sicherheit der Stauanlagen (Stauanlagenverordnung, StAV) und aus der Alarmierungsverordnung (AV). Widerhandlungen gegen diese Vorschriften sind strafbar.

Die StAV gilt gemäss Art. 1 und 2 für Stauanlagen mit einer Stauhöhe von mindestens 10 m (über Niederwasser oder Gelände) und für Anlagen von geringeren Ausmassen, welche eine besondere Gefahr für Personen und Sachen darstellen. Darunter fallen auch *Bauwerke für den Rückhalt von Gestein, Eis und Schnee*,

was für Mehrzweck-Staudämme (zur Energieproduktion und zur Eindämmung von Gletscherhochwassern) zu beachten ist. Verantwortlich für die Einhaltung der Vorschriften ist die *Inhaberin*, also diejenige Person, welche die *Stauanlage baut, besitzt oder betreibt* (Art. 2 Abs. 2 StAV). Stauanlagen müssen nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik gebaut und unterhalten werden, sodass ihre *Standssicherheit* bei allen voraussehbaren Betriebs- und Lastfällen gewährleistet ist. Stauseen müssen (z.B. bei drohender Gefahr) abgesenkt oder geleert werden können (Art. 3 Abs. 1, Art. 4, Art. 10 Abs. 1 StAV). Vor der Inbetriebnahme ist eine Bewilligung durch die Aufsichtsbehörde (je nach Stauhöhe und Stauraum das Bundesamt für Energie oder der Kanton) erforderlich (Art. 7, Art. 21, Art. 22 StAV). Für den Betrieb wird u.a. vorausgesetzt, dass die *Gefährdung der öffentlichen Sicherheit ausgeschlossen* werden kann und dass die *Ablassvorrichtungen* und die *Hochwasserentlastung* betriebstüchtig sind. Für Rückhaltebecken kann die Aufsichtsbehörde besondere Voraussetzungen vorsehen (Art. 8 StAV). Der Betrieb ist so zu organisieren, dass die Sicherheit jederzeit gewährleistet ist. Die Inhaberin unterliegt sodann strengen Überwachungsvorschriften und Sicherheitsprüfungen. Sie hat alle erforderlichen Vorkehrungen für den Notfall zu treffen (Notfallkonzept), wenn der sichere Betrieb der Stauanlage z.B. aufgrund von *Naturereignissen* nicht mehr gewährleistet ist. Dazu gehört bei grösseren Stauseen auch ein Wasseralarmsystem in der Nahzone (Art. 9 Abs. 1, Art. 12 ff., Art. 17 ff. StAV).

Die Betreiber sind nach Art. 12 AV verantwortlich für die rechtzeitige Auslösung der *Warnung oder Alarmierung* im Falle ausserordentlicher Ereignisse, die eine Überflutungsgefahr im Abflussgebiet der Stauanlage verursachen können. Sie haben dies mehreren Behörden zu melden (Standortkanton, Nationale Alarmzentrale, Bundesamt für Energie). Die Betreiber von Stauanlagen sind verpflichtet, ein vom Bundesamt für Energie genehmigtes Notfallreglement zu erlassen. Darin sind die technischen Kriterien für die Auslösung der Warnung und der Alarmierung, die Zuständigkeit innerhalb ihrer Organisation und die Meldewege nach aussen festzulegen. Die Betreiber haben für den Unterhalt und die ständige Betriebsbereitschaft des Wasseralarmsystems zu sorgen (Art. 20 AV).

### *Verantwortungsbereich der privaten Hauseigentümer*

Es obliegt den privaten *Eigentümern von Gebäuden* und anderen Werken, zumutbare Schutzanstrengungen eigenverantwortlich vorzunehmen. Dies entspricht dem Fundamentalsatz, dass der Eigentümer den Schaden grundsätzlich selbst zu tragen hat, es sei denn, dass der Schaden auf der Grundlage des Haftpflichtrechts auf einen Ersatzpflichtigen abgewälzt werden kann (Rey, 2008, N 18 ff.). Privateigentü-

mer sind für verhältnismässige technisch-bauliche *Objektschutzmassnahmen*, für *betriebliche Massnahmen* sowie für den Abschluss der nötigen *Versicherungen* verantwortlich (Hepperle, 2008, S. 55). *Gebäudeversicherungen* sind in den meisten Kantonen obligatorisch (für Feuer- und Elementarschäden). *Objektschutz* bedeutet angepasstes Bauen: z.B. erhöhter Standort, Vorsorge durch leicht räumbare Unter- und Erdgeschosse und deren Ausstattung mit wasserunempfindlichen Materialien, Abdichtung und Abschirmung mittels Errichten einer Sperre (Bundesamt für Wasser und Geologie, 2004, S. 17).

Sind Privatpersonen oder Unternehmungen Eigentümer von Werken (Bsp. Gebäude, Strassen, Wege, Stauanlagen, Seilbahnen), unterliegen sie der *Werkeigentümerhaftung* (Art. 58 OR), dazu Kap. 6.2.6.

### 6.2.5 Strafrechtliche Aspekte

Im *Strafverfahren* wird untersucht, ob einer Person ein strafbares Verhalten vorzuwerfen ist. Ein Strafverfahren wird meist von Amtes wegen eingeleitet, falls an einem Unfall oder Schaden Fremdverschulden nicht auszuschliessen ist. Straftat verhält sich, wer die Voraussetzungen von *Straftatbeständen* vorsätzlich oder fahrlässig erfüllt, z.B. fahrlässige Körperverletzung (Art. 125 Strafgesetzbuch, StGB) oder fahrlässige Tötung (Art. 117 StGB). Mögliche Sanktionen sind Busse, Geldstrafe, gemeinnützige Arbeit bzw. Freiheitsstrafe. Im Zusammenhang mit Unglücken bei Gletscherseen dürfte fahrlässiges Verhalten durch pflichtwidrige Unterlassungen im Vordergrund stehen (z.B. Versäumnisse von verkehrssicherungspflichtigen Behörden). *Fahrlässigkeit im strafrechtlichen Sinn* liegt vor, wenn die beschuldigte Person die Vorsicht nicht beachtet, zu der sie nach den Umständen und nach ihren persönlichen Verhältnissen verpflichtet ist (Art. 12 Abs. 3 StGB). Bei *Unterlassungen* ist massgeblich, ob eine Rechtspflicht zum Handeln (infolge Garantenstellung) bestand oder nicht (siehe Art. 11 StGB). Strafrechtliche Fragen sollen vorliegend nicht näher erläutert werden.

## 6.2.6 Haftungsgrundlagen im Schadenfall

### *Einleitung und Überblick*

#### **Verkehrssicherungspflichten**

Der allgemeine *Gefahrensatz* besagt: Wer eine gefährliche Tätigkeit ausführt oder einen Gefahrenzustand schafft, ist verpflichtet, die zur Vermeidung eines Schadens erforderlichen und zumutbaren Vorsichts- und Schutzmassnahmen zu treffen. Der Gefahrensatz wird im Zivilrecht als Gewohnheitsrecht anerkannt (z.B. BGE 121 III 358 ff. E. 4a; Honsell, 2005, S. 59 f.; Rey, 2008, N 753 ff., 866 ff.). Art. 11 Abs. 2 StGB statuiert das pflichtwidrige Untätigbleiben trotz Garantenstellung durch Schaffung einer Gefahr (Begehen eines Delikts durch Unterlassen). Beispielsweise schaffen die Gemeinwesen durch den Bau von Strassen oder durch die Anlage von Wanderwegen für die Benutzer potenziell einen Gefahrenzustand (Verkehrsunfälle, Naturgefahren, Absturzgefahr).

*Verkehrssicherungspflichten* sind Ausfluss des Gefahrensatzes. Sie legen verbindliche Minimalstandards für Betreiber von Anlagen, für Bauten und für öffentliche Einrichtungen fest (im Zusammenhang mit Gletschern: Bütler, 2006, S. 189 ff.; bezüglich Strassen: Bütler & Sutter, 2007, S. 469 ff.). Zur Einhaltung der Verkehrssicherungspflichten sind die jeweils einschlägigen Erlasse, die Anforderungen der Werkeigentümerhaftung, Richtlinien, Leistungsvereinbarungen und Empfehlungen von Bundesämtern und kantonalen Fachstellen sowie technische Normen (z.B. SIA-Normen) zu berücksichtigen. Werden Verkehrssicherungspflichten im Einzelfall verletzt, dürften in der Regel Sorgfaltspflichtverletzungen bzw. Werkmängel vorliegen, welche haftpflichtrechtlich und gegebenenfalls strafrechtlich relevant sein können.

Allgemein ist darauf hinzuweisen, dass eine zivilrechtliche Haftbarkeit bzw. ein strafbares Verhalten nicht nur im Falle schädigender *Handlungen*, sondern auch bei *Unterlassungen* möglich sind. Allerdings ist erforderlich, dass im konkreten Fall eine *Rechtspflicht zur Schadensverhinderung* bzw. eine *Garantenstellung* besteht. Hierzu ist festzuhalten, dass Kantone und Gemeinden im Sinne einer Garantenstellung verpflichtet sind, Gefahren für die öffentliche Sicherheit und Ordnung abzuwehren. Dazu gehört der Schutz des Polizeiguts Leib und Leben (Gross, 2001, S. 243 f.).

## Haftungsvoraussetzungen

Im *zivilrechtlichen Haftungsrecht* geht es darum abzuklären, ob eine (natürliche oder juristische) Person (Schädiger) für den Schaden der geschädigten Person finanziell aufkommen muss. Die geschädigte Person (und nicht der Staat) muss dazu aktiv werden. Die zivilrechtliche Haftbarkeit setzt einen *Schaden* (nachgewiesene Vermögensverminderung) und eventuell eine immaterielle Unbill (für eine Genugtuung), den natürlichen und rechtlichen (adäquaten) *Kausalzusammenhang* zwischen der Schadensursache und dem eingetretenen Schaden sowie *Widerrechtlichkeit* (vor allem Personen- und Sachschäden) voraus. Je nach Haftungsart müssen weitere Kriterien erfüllt sein, um eine Schadenersatzpflicht auszulösen, z.B. ein *schuldhaftes Verhalten* (Fahrlässigkeit oder Vorsatz bei der Verschuldenshaftung im Unterschied zu den Kausalhaftungen), ein *Werkmangel*, eine leitende Stellung in einem Unternehmen. Im Zivilrecht bedeutet *Fahrlässigkeit* – anders als im Strafrecht – das Ausserachtlassen der im Verkehr erforderlichen Sorgfalt. Der Zivilrichter ist bei der Beurteilung der Fahrlässigkeit nicht an ein Strafurteil gebunden (Art. 53 OR).

## Haftung des Werkeigentümers

### Bedeutung der Werkeigentümerhaftung

Ereignet sich ein Gletscherhochwasser oder ein Murgang, welche in Siedlungen, auf Strassen oder auf einem angelegten Wanderweg zu Personen- bzw. Sachschäden führen, so stellt sich die Frage der Haftung von Kanton, Gemeinde oder privaten Unternehmen bzw. Personen. Dies insbesondere, wenn diese Gefahr schon vor der Baubewilligung bzw. vor der Errichtung des Weges bekannt war oder wenn erforderliche Schutzmassnahmen unterlassen wurden.

Im Zusammenhang mit dem Schutz vor Naturgefahren bzw. vor gefährlichen Ereignissen wegen Gletscherseen spielt die *Werkeigentümerhaftung* eine nicht zu unterschätzende Rolle. In der Regel befinden sich unterhalb von Gletscherseen in näherer oder weiterer Entfernung diverse *Infrastrukturen* wie z.B. *Wanderwege, Stauseen, Strassen, Stromleitungen, Campingplätze* oder – weiter unten – auch *Siedlungen*, welche von Flutwellen, Murgängen und Überschwemmungen beeinträchtigt werden könnten. Die jeweiligen Werkeigentümer (Gemeinwesen, Unternehmen oder Privatpersonen) haben dafür zu sorgen, dass das fragliche Werk keine Mängel aufweist. Wie nachfolgend gezeigt wird, ist massgeblich, welchem Zweck ein Werk dient und inwieweit Schutzmassnahmen zumutbar und verhältnismässig sind.

## Werk, Werkmangel und Werkeigentümer

Gemäss Art. 58 Abs. 1 OR haftet der Eigentümer eines Gebäudes oder eines anderen Werkes für den Schaden, der durch *fehlerhafte Anlage* oder *mangelhafte Unterhaltung eines Werks* verursacht wird. Der Werkbegriff setzt einen stabilen, mit dem Boden verbundenen, künstlich hergestellten Gegenstand voraus (z.B. Honsell, 2005, S. 156 ff.; Rey, 2008, N 1'022 ff.). Den *Werkbegriff* erfüllen z.B. Gebäude, Strassen, angelegte Wanderwege, Leitern, Treppen, Stauanlagen, Wasserfassungen, Freileitungen, Seilkabel einer Seilbahn, Skiliftmasten, künstlich umgestaltete Flussläufe, Gletschergrotten (z.B. Rey, 2008, N 1'043 mit Verweisen auf die Rechtsprechung). Ein *Werkmangel* liegt vor, wenn ein Werk nach seinem Zweck bei bestimmungsgemäsem Gebrauch keine genügende Sicherheit bietet. Je nach Zweck, Art und Lage eines Werks werden strengere oder weniger strenge Kriterien angewendet: so muss ein Gebäude im Siedlungsraum eine grössere Sicherheit bieten als bauliche Vorkehrungen bei einem Bergwanderweg. Immerhin dürfen Werkbenutzer darauf vertrauen, dass baulich gesicherte Stellen (z.B. Leitern, Handläufe) in der Regel mängelfrei sind und die elementaren Sicherheitsstandards erfüllen.

Grundsätzlich unterliegt der zivilrechtliche *Eigentümer des Werkes* dieser Haftungsbestimmung. Nach der Rechtsprechung ist die Werkeigentümerhaftung *auch* auf *Gemeinwesen* (Kantone und Gemeinden) anwendbar (z.B. BGE 115 II 237 ff. E. 2b). Massgeblich ist das Eigentum bzw. die Hoheit am betroffenen Boden, ausser ein Werk steht im Eigentum einer baurechtsberechtigten Person (gesondertes Eigentum nur an der Baute). Im Bereich der *Fels- und Gletschergebiete* (oberhalb des kulturfähigen Landes) sind meistens die *Kantone bzw. Gemeinden* hoheits- bzw. eigentumsberechtigt (dazu Kap. 6.1.1). Eine komplexe Konstellation ergibt sich, wenn Eigentum, Unterhalt bzw. Nutzen am Werk auseinanderfallen. Nach der Rechtsprechung ist haftpflichtig, wer die Werkanlage als Ganzes erstellt hat, wer sie benützt und tatsächlich über sie verfügt und darum für ihren Unterhalt zu sorgen hat. Im Zusammenhang mit Strassen und Wegen spricht das Bundesgericht von einem Sondertatbestand der Haftung des Gemeinwesens (BGE 91 II 281, E. 3b; BGE 121 III 448 ff., E. 2a). Haftbar sein kann ein betroffenes Gemeinwesen (Bund, Kanton oder Gemeinde), falls ihm das Hoheits-, Eigentums- oder Dienstbarkeitsrecht (öffentliches Wegrecht mit Unterhaltungspflicht) an dem im Weggebiet befindlichen Boden zusteht.

### Haftung bei zufälligen Ereignissen und höherer Gewalt?

Bei der Werkeigentümerhaftung handelt es sich um eine sog. *Kausalhaftung*, wonach es bei den Haftungsvoraussetzungen auf das Verschulden des Werkeigentümers grundsätzlich nicht ankommt. Mit dem Verschulden ist das Ausserachtlassen der im Verkehr erforderlichen Sorgfalt gemeint (Vorsatz oder Fahrlässigkeit). Der Werkeigentümer haftet in der Regel auch für *zufällige*, von menschlichem Verhalten unabhängige *Ereignisse*. Allerdings sind die Sorgfaltspflichten des Werkeigentümers nicht unbegrenzt. Denn von den *Benützern* darf ein gewisses Mass an *Vorsicht* erwartet werden. Dies gilt speziell für Werke in der freien Natur wie Wanderwege. Hier trifft die Werkbenutzer, also die Wandernden, eine erhebliche *Eigenverantwortung*. Zudem ist im Einzelfall jeweils abzuklären, ob Schutzmassnahmen nach dem Verhältnismässigkeitsprinzip für den Werkeigentümer zumutbar sind. Die *Zumutbarkeit* misst sich an den Kriterien der *technischen, finanziellen, zeitlichen, logistischen und personellen Möglichkeiten* (z.B. nach einer Überschwemmung mit grossen bzw. zahlreichen Schäden). Auch das Verhältnis zwischen Kosten und Nutzen schadenverhütender Vorkehrungen ist zu prüfen.

Keine Haftung besteht für Fälle sog. *höherer Gewalt*. Es geht um nicht voraussehbare, aussergewöhnliche und unabwendbare Ereignisse, die mit grosser Wucht hereinbrechen wie z.B. Erdbeben oder Blitzschlag. Überraschende, ausserordentlich heftige und seltene Hochwasser, Murgänge, Lawinen oder Felsstürze können in diese Kategorie fallen. Die Rechtsprechung ist mit der Annahme höherer Gewalt zurückhaltend; so wurde sie verneint bei wolkenbruchartigen Regenfällen in einer Berggegend und bejaht bei einem Murgang nach einem sehr heftigen Gewitter (BGE 111 II 429 ff., E. 1b; BGE 100 II 134 ff. E. 5; BGE 49 II 254 ff., 263, 266). *Naturereignisse kleineren Ausmasses*, wie Steinschläge, kleinere Hochwasser oder Murgänge, können heutzutage nicht mehr zu den Fällen höherer Gewalt gezählt werden. Dennoch muss der Werkeigentümer für dadurch verursachte Schäden bei *fehlender Voraussehbarkeit* nicht eintreten. Die Beurteilung der Mängelfreiheit hängt vom Bestimmungszweck und der Lage des Werks sowie von der Voraussehbarkeit des Ereignisses ab. Werkbenutzer sind vor überraschenden, sog. fallenartigen Gefahren zu schützen, welche dem Werkeigentümer bekannt waren (z.B. Gletscherhochwasserereignis im Vorjahr) bzw. bei sorgfältigem Verhalten hätten bekannt sein müssen (dazu Bütler, 2009, S. 115 f.; Bütler & Sutter, 2007, S. 481 ff.).

### Staatshaftung von Bund und Kantonen

Auf Bundesebene ist das *Verantwortlichkeitsgesetz (VG)* anwendbar, wonach der Bund für den Schaden, den ein Beamter in Ausübung seiner amtlichen Tätigkeit



Dritten widerrechtlich zufügt, ohne Rücksicht auf das Verschulden des Beamten haftet (Art. 3 Abs. 1 VG). Da im Bereich Naturgefahren primär Kantone und Gemeinden (und nicht der Bund) zuständig sind, kommen im Falle einer Staatshaftung vor allem *die kantonalen Verantwortlichkeitsgesetze* in Betracht. Sowohl der Bund als auch die meisten Kantone sehen eine ausschliessliche Staatshaftung vor. Bei vorsätzlicher oder grob fahrlässiger Schädigung durch den Beamten kann das haftpflichtige Gemeinwesen auf diesen Rückgriff nehmen (Näheres zur Staatshaftung: Gross, 2001, S. 1 ff.; Honsell, 2005, S. 142 ff.; Sutter, 2009, S. 184 ff.).

Bedeutsam ist, dass die erwähnten Verantwortlichkeitsgesetze teilweise durch Haftpflichtbestimmungen aus anderen Gesetzen verdrängt werden. Sind im Einzelfall z.B. die Voraussetzungen der Haftung des Werkeigentümers (Art. 58 OR) bzw. des Grundeigentümers (Art. 679 ZGB) gegeben, so haften die Gemeinwesen nach diesen Bestimmungen (Art. 3 Abs. 2 VG). Soweit Schäden nicht auf Werkmängeln oder auf der Überschreitung des Grundeigentums beruhen, ist die Staatshaftung zu prüfen. Im Zusammenhang mit gefährlichen Gletscherseen ist die ungenügende raumplanerische Abwehr von Naturgefahren (gemäss Raumplanungs-, Wasserbau- oder Waldgesetz), z.B. die Duldung eines bekannten rechtswidrigen bzw. polizeiwidrigen Zustandes, zu nennen. Ein Haftungsrisiko besteht, wenn die zuständigen Behörden trotz ihrer Garantenstellung zumutbare präventive Schutzmassnahmen unterlassen. Es ist auf den Wissensstand abzustellen, welchen die Behörde zum Entscheidungszeitpunkt hatte bzw. haben musste. Eine Haftung kommt in der Regel nur bei einer *qualifizierten Fehlentscheidung* in Betracht, wenn die von der Behörde vorgenommene Beurteilung nicht nachvollziehbar ist oder wenn wichtige Erkenntnisse (z.B. aus einer Gefahrenkarte) überhaupt nicht berücksichtigt wurden (Bundesamt für Raumentwicklung et al., 2005, S. 31 f.; Hepperle, 2008, S. 30 ff., 50 ff.; Sobotich, 2000, S. 1 ff., 94 ff.; Sutter, 2009, S. 189).

### *Weitere Haftungsgrundlagen*

Es sind weitere Haftungsgrundlagen kurz zu erwähnen. Insbesondere geht es um sog. *Gefährdungshaftungen*, welche auf Privatpersonen und Gemeinwesen anwendbar sind. Gefährdungshaftungen knüpfen an den *Betrieb gefährlicher Anlagen* an. Der Inhaber dieser Anlage muss für Schäden auch dann eintreten, wenn er alle Schutzvorkehrungen getroffen hat und dennoch ein Schaden eingetreten ist. Beispiele für Gefährdungshaftungen sind der Betrieb von Eisenbahnen, die Haftpflicht des Inhabers einer elektrischen Anlage bzw. einer Rohrleitungsanlage, die Haftpflicht der Eidgenossenschaft für militärische Übungen und die sog. Umwelthaftung (dazu Honsell, 2005, S. 196 ff.; Rey, 2008, N 1'242 ff.).

Daneben kommen weitere Haftungsgrundlagen in Betracht: die *Verantwortlichkeit des Grundeigentümers* (Art. 679 ZGB), die *allgemeine Verschuldenshaftung* (Art. 41 OR), die *Haftung des Geschäftsherrn* (Art. 55 OR), die *vertragliche Verschuldenshaftung* etc. Der Grundeigentümer haftet für Schäden, die auf die Überschreitung seines Eigentumsrechts zurückzuführen sind. Das reine Belassen eines Naturzustandes fällt jedoch nicht darunter. Dies ist im Zusammenhang mit Gletscherseen für Kantone und Gemeinden als Hoheitsberechtigte bzw. Eigentümer der Fels- und Gletschergebiete bedeutsam (Bütler, 2006, S. 171; Rey, 2008, N 1'100). Die allgemeine Verschuldenshaftung kann angerufen werden, wenn zwischen dem Schädiger und der geschädigten Person kein Vertrag besteht und keine spezielleren Haftungsnormen anwendbar sind. Der Geschäftsherr (z.B. Betreiber einer Stauanlage oder ein Wanderwegverein) haftet gemäss Art. 55 OR für das Verhalten seiner Hilfspersonen. Er kann sich von der Haftung befreien, wenn er nachweist, dass er seine Hilfspersonen sorgfältig ausgewählt, instruiert und beaufsichtigt hat. Verlangt werden auch eine zweckmässige Organisation sowie die Verwendung geeigneten Materials (Honsell, 2005, S. 130 ff.).

### 6.2.7 Fazit

Die Frage der Verantwortlichkeit im Zusammenhang mit gefährlichen Gletscherseen (und allen anderen gravitativen Naturgefahren) wirft vielschichtige und komplexe Rechtsfragen auf. Es ist zu unterscheiden zwischen der Zuständigkeit bzw. Verantwortlichkeit für das Ergreifen von Schutzmassnahmen und den zivil- und strafrechtlichen Konsequenzen, wenn Versäumnisse von Verantwortungsträgern zu Personen- und Sachschäden führen.

Die Rechtsgrundlagen zum Umgang mit Naturgefahren sind uneinheitlich und zersplittert. Von Bedeutung sind das Wald- und das Wasserbaurecht. Angezeigt ist ein integrales Risikomanagement, welches Massnahmen der Prävention, Intervention und Wiederinstandstellung umfasst. So können die Haftungsrisiken reduziert werden. In der Pflicht zur Gefahrenprävention und -abwehr stehen primär die Kantone und Gemeinden, welche dabei vom Bund finanziell unterstützt werden. Der Gesetzgeber legt die Priorität auf raumplanerische Massnahmen. Dazu sind Ereigniskataster und Gefahrenkarten zu erarbeiten, nach Objektkategorien abgestufte Schutzziele zu definieren sowie Mess- und Frühwarnsysteme einzurichten. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse müssen in der Richt- und Nutzungsplanung umgesetzt werden, z.B. mittels Gefahrenzonen (Verbots-, Gebots- und Hinweiszone) und entsprechenden Vorschriften in den Bau- und Zonenreglementen der Gemeinden. Im Umgang mit Hochwassergefahren sollen die Gewässerräume ausgeweitet,

Abflusskorridore freigehalten und Rückhalteräume geschaffen werden. In erheblich gefährdeten Gebieten dürfen keine neuen Bauzonen ausgeschieden werden. Bei nicht überbauten Parzellen der Bauzonen sind Rück- und Auszonungen mit Entschädigungsfolgen zu prüfen. In bereits überbauten Gebieten kommen Nutzungsbeschränkungen und Auflagen (z.B. für Objektschutzmassnahmen) in Betracht. Schutzbauten wie Abflussstollen, Wasserfassungen, Verbauungen und Staudämme kommen erst in zweiter Linie infrage. Neben den Sicherheitsaspekten sind die Zumutbarkeit baulicher Schutzvorkehrungen für die Gemeinwesen sowie die ökologischen Auswirkungen zu prüfen.

Im Zusammenhang mit Gletscherseen sind die speziellen Sorgfaltspflichten der Betreiber von Stauanlagen zu beachten. Bei Wanderwegen spielt die Eigenverantwortung der Wandernden eine grosse Rolle. Dennoch sind die kantonalen und kommunalen Behörden verpflichtet, Wandernde vor überraschenden, fallenartigen Gefahren, zu denen auch Gletscherseeeausbrüche zu zählen sind, zu schützen, soweit diese Gefahren den Behörden bekannt bzw. voraussehbar sind bzw. sein müssten.

Verursacht ein Gletscherhochwasser Schäden (Todesopfer, Verletzungen, Sachbeschädigungen), so stellt sich die Frage der zivilrechtlichen Haftbarkeit sowie der strafrechtlichen Verantwortung. Grundsätzlich müssen Geschädigte bzw. Eigentümer ihren Schaden selber tragen. Sind jedoch die Voraussetzungen bestimmter Haftungsnormen erfüllt, können sie den Schaden auf das Gemeinwesen oder auf natürliche oder juristische Personen („Schädiger“) überwälzen. Bedeutsame Haftungsgrundlagen sind vorliegend die Haftung des Werkeigentümers für Schäden infolge von Werkmängeln (bei mangelhafter Anlage oder ungenügendem Unterhalt des Werks) sowie die Staatshaftung. Stets zu prüfen ist der Stellenwert der Eigenverantwortung, insbesondere abseits von Siedlungen. Sorgfaltswidriges Verhalten verantwortlicher Personen, z.B. pflichtwidriges Untätigbleiben trotz Bestehens einer Rechtspflicht, kann auch strafrechtliche Konsequenzen haben. Wer Straftatbestände wie fahrlässige Körperverletzung oder fahrlässige Tötung erfüllt, kann mit Busse oder mit Freiheitsstrafe bestraft werden.

## 6.3 Nutzung und Schutz von Gletscherseen

### 6.3.1 Interessenkonflikte rund um Gletscherseen

Gletscherseen haben Bedeutung in verschiedener Hinsicht: als *Naturphänomen*, Element der Landschaft, Gewässer- und Lebensraum. Solche Seen können eine *Naturgefahr* darstellen, wenn Flutwellen, Hochwasser und Murgänge durch See-

ausbrüche (eventuell im Zusammenhang mit anderen Naturgefahren wie Fels- und Eisstürze) ausgelöst werden. Gletscherseen sind aus Sicht der Energieversorgung für die *Stromproduktion* potenziell interessant, indem sie mithilfe von Dämmen als Stauseen genutzt werden könnten. Zu erwähnen sind auch die Interessen für die *Trinkwasserversorgung*. Für den *Bergtourismus* stellen Gletscherseen schliesslich eine Attraktion dar, sofern der Zugang zu ihnen nicht allzu anspruchsvoll bzw. mittels Wanderwegen oder Seilbahnen erschlossen ist; für Alpinisten kann gerade die unberührte Gebirgslandschaft anziehend sein. Es ergeben sich damit verschiedenen gelagerte Interessen: erstens *ökologische Interessen*, vorab Gewässerschutz, Natur- und Heimatschutz (Landschaft, Biotop) und allgemeiner Umweltschutz; zweitens *sicherheitsbezogene (polizeiliche) Interessen*, um den Schutz der Bevölkerung vor Naturgefahren zu gewährleisten; drittens geht es um *wirtschaftliche und gesellschaftliche Interessen* zur Nutzung der Gletscherseen für die Stromproduktion (Wasserkraft) und für touristische Zwecke (Zugänglichkeit, Erlebnisse und Erholung). Im Folgenden werden die wichtigsten rechtlichen Grundlagen zum Umgang mit diesen Interessenkonflikten bei Gletscherseen dargestellt. Gewisse Spezialthemen werden vorliegend nur kurz (z.B. raumplanerische Fragen, Erschliessung durch Seilbahnen) oder nicht behandelt, so z.B. militärische Schiessübungen in Gletschergebieten.

### 6.3.2 Wasserrechtliche Vorgaben für die Nutzung der Wasserkraft

#### *Verfassungsrechtliche Grundlagen zu Energiepolitik und Wasser*

Die Bundesverfassung (BV) verpflichtet Bund und Kantone, sich in der *Energiepolitik* im Rahmen ihrer Zuständigkeiten für eine ausreichende, breit gefächerte, sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung sowie für einen sparsamen und rationellen Energieverbrauch einzusetzen. Der Bund legt Grundsätze fest über die Nutzung einheimischer und erneuerbarer Energien und über den sparsamen und rationellen Energieverbrauch (Art. 89 Abs. 1 und 2 BV). Diese Grundsätze werden im Energiegesetz (EnG) detailliert ausgeführt. Sollte die Versorgung der Schweiz mit Elektrizität längerfristig nicht genügend gesichert sein, müssen Bund und Kantone die Voraussetzung schaffen, Produktionskapazitäten möglichst im Inland bereitzustellen; „klimaneutrale“ und standortgeeignete Technologien (wie die Wasserkraft) stehen im Vordergrund (Art. 6a EnG).

Der Bund sorgt im Rahmen seiner Zuständigkeiten für die haushälterische Nutzung und den Schutz der *Wasservorkommen* sowie für die Abwehr schädigender Einwir-

kungen des Wassers. Er legt Grundsätze fest über die Erhaltung und die Erschliessung der Wasservorkommen, über die Nutzung der Gewässer zur Energieerzeugung und für Kühlzwecke sowie über andere Eingriffe in den Wasserkreislauf (Art. 76 Abs. 1 und 2 BV).

### *Gewässerhoheit und allgemeine Voraussetzungen zur Nutzung von Gewässern*

Die *Hoheit über die öffentlichen Gewässer* steht grundsätzlich den *Kantonen* zu, welche dieses Recht an andere Gemeinwesen (Gemeinden, Bezirke oder Körperschaften) delegieren können (Art. 76 Abs. 4 BV, Art. 2 Wasserrechtsgesetz, WRG); nähere Ausführungen dazu unter Kap. 6.1. Der *Bund* hat die *Oberaufsicht* über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte der öffentlichen und privaten Gewässer (Art. 1 Abs. 1 WRG). Das verfassungsberechtigte Gemeinwesen kann die Wasserkraft zur Stromproduktion selber nutzen oder das Recht mittels Konzession anderen verleihen (Art. 3 Abs. 1 WRG). Steht ein Gewässer im Privateigentum, darf es nur mit Erlaubnis des Kantons mittels Wasserkraftanlagen genutzt werden (Art. 17 Abs. 1 WRG). Sollen Gewässer genutzt werden, welche im Gebiet mehrerer Kantone liegen, und können sich die Kantone darüber nicht einigen, entscheidet nach Art. 6 Abs. 1 WRG das zuständige Bundesdepartement (UVEK). Bei Gewässern, welche die Landesgrenze berühren, entscheidet das UVEK nach Anhörung der betroffenen Kantone über die Begründung der Nutzungsrechte (Art. 7 WRG).

*Wasserkraftwerke* müssen den Vorschriften von Bund und Kantonen entsprechen. Naturschönheiten sind zu schonen bzw. ungeschmälert zu erhalten, wo das allgemeine Interesse an ihnen überwiegt. Wasserkraftwerke sind so zu bauen, dass sie das landschaftliche Bild nicht oder möglichst wenig stören. Zur Abgeltung erheblicher Einbussen der Wasserkraftnutzung infolge von Massnahmen des Landschaftschutzes sind Ausgleichsbeiträge vorgesehen (Art. 22 WRG). Die Inhaber von Wasserwerken müssen die Interessen der Fischerei bestmöglich wahren (Art. 23 WRG; Näheres zu den umweltrechtlichen Fragen in Kap. 6.3.3, 6.3.6, 6.3.7). Die Bestimmungen zur Wahrung der Schifffahrt (Art. 24 ff. WRG) werden hier weggelassen. Bund und Kantone dürfen nach Art. 29 WRG hydrometrische Erhebungen vornehmen und Messstationen einrichten. Art. 32 Abs. 1 WRG sieht vor, dass auf alle Nutzungsberechtigten nach Möglichkeit Rücksicht genommen wird, d.h. bei der Regelung des Wasserstandes und Wasserabflusses sowie bei der Ausübung der Nutzungsrechte. Die zuständige Behörde kann gegebenenfalls lenkend eingreifen, unter Vorbehalt einer Entschädigungspflicht der Begünstigten (Art. 32 Abs. 3

WRG). Offen bleibt, ob diese Bestimmung auch in Bezug auf die Trinkwasserversorgung und für Bewässerungen anwendbar ist (Jagmetti, 2005, S. 504).

### *Die Verleihung von Wasserrechten*

Wasserrechte werden von den zuständigen Behörden des Kantons verliehen, in welchem sich das betroffene Gewässer befindet. Erstreckt sich ein Gletschersee auf verschiedene Kantone, ist eine Einigung dieser Gemeinwesen erforderlich. Fehlt sie, entscheidet das Bundesdepartement UVEK über die Frage der Konzessionserteilung. Bei Gletscherseen auf der Landesgrenze ist ebenfalls das UVEK zuständig (Art. 38 WRG). *Wasserrechte* können an bestimmte natürliche oder juristische Personen (z.B. Aktiengesellschaft) oder Personengemeinschaften (z.B. Kollektivgesellschaft) *mittels Konzession verliehen* werden (Art. 40 WRG). Ein Anspruch auf Konzessionserteilung besteht nicht. Es steht den Gemeinwesen „frei, auf die Nutzung der Wasserkraft einer Gewässerstrecke zu verzichten.“ (Jagmetti, 2005, S. 489). Eine verliehene Konzession darf nur mit Zustimmung der Verleihungsbehörde auf einen anderen übertragen werden (Art. 42 Abs. 1 WRG).

Die Konzession verschafft dem Erwerber (Konzessionär) nach Massgabe der Konzessionsbestimmungen ein sog. *wohlerworbenes Recht* auf die Benutzung des Gewässers. Das verliehene Recht kann nur aus Gründen des öffentlichen Wohles und gegen volle Entschädigung zurückgezogen oder geschmälert werden (Art. 43 WRG). Die nach der Rechtsprechung auf dem Vertrauensschutz und der Eigentumsgarantie basierende Rechtsfigur der wohlerworbenen Rechte schützt die „Substanz“ des Wassernutzungsrechts (BGE 128 II 112 ff. E. 10a; Jagmetti, 2005, S. 86–90 und S. 489–495). Was dies im Einzelnen bedeutet, ist im Zusammenhang mit der Einhaltung der Restwasservorschriften, insbesondere bei der *Sanierung von Fliessgewässern* nach Art. 80 Abs. 1 und 2 GSchG, umstritten (dazu Kap. 6.3.3). Die Verleihungsbehörde kann dem Konzessionär, d.h. dem Kraftwerksbetreiber, aus Gründen des öffentlichen Interesses das *Enteignungsrecht* gewähren (Art. 46 Abs. 1 WRG).

### *Das Konzessionsverhältnis*

Die Verleihungsbehörde setzt die *Leistungen und Bedingungen* fest, zu welchen dem Konzessionär das Nutzungsrecht erteilt wird. Dazu gehören insbesondere Gebühren, Wasserzins, evtl. Abgabe von Wasser oder elektrischer Energie, Konzessionsdauer, Bestimmungen über Strompreise, evtl. Beteiligung des Gemeinwesens am Gewinn, evtl. Heimfall der Konzession und Rückkauf. Die Ausnutzung der Wasserkräfte darf durch diese Leistungen nicht wesentlich erschwert werden (Art.

48 WRG). Der *Wasserzins* (inklusive besondere kantonale Steuern) beträgt jährlich maximal 100 Franken (bis Ende 2014) bzw. 110 Franken (bis Ende 2019) pro Kilowatt Bruttoleistung (Art. 49 Abs. 1 WRG). Art. 54 WRG schreibt den notwendigen (obligatorischen) Konzessionsinhalt detailliert vor, zum fakultativen Inhalt Art. 55 WRG (z.B. Beteiligung des verleihenden Gemeinwesens; Näheres zur Konzessionserteilung und zum Konzessionsverhältnis bei Kunz, 2011, S. 27 ff.; Riva, 2011, S. 51 ff.; Wyer, 2000, S. 1 ff.).

Aus der Liste von Art. 54 WRG zum *obligatorischen Inhalt der Konzession* sind insbesondere zu erwähnen: die Person des Konzessionärs (Bst. a), der Umfang des verliehenen Nutzungsrechtes mit Angabe der nutzbaren Wassermenge und der Dotierwassermenge pro Sekunde sowie die Art der Nutzung (Bst. b), bei Ableitungen und Speicherungen die einzuhaltende Restwassermenge pro Sekunde (Bst. c), weitere Bedingungen und Auflagen, die gestützt auf andere Bundesgesetze festgelegt werden (Bst. d), die Dauer der Konzession (Bst. e), die dem Konzessionär auferlegten wirtschaftlichen Leistungen wie Wasserzins, Pumpwerkabgabe, Abgabe von Wasser oder elektrischer Energie und andere Leistungen (Bst. f), die Fristen für den Beginn der Bauarbeiten und die Eröffnung des Betriebes (Bst. h), allfällige Rechte der Gemeinwesen auf Beanspruchung des Heimfalls und auf Rückkauf des Werkes (Bst. i) sowie das Schicksal der Anlagen beim Ende der Konzession (Bst. k).

Die *Konzessionsdauer* beträgt *maximal 80 Jahre*, sie läuft von der Eröffnung des Betriebes an (Art. 58 WRG). Das kantonale Recht kann eine kürzere Dauer vorsehen (z.B. 40 oder 70 Jahre). Die auf wenigstens 30 Jahre verliehenen Wasserrechte bzw. die Konzession können in das Grundbuch aufgenommen werden (Art. 59 WRG). Konzessionen können auf den Zeitpunkt des Ablaufs oder schon vorher erneuert werden, insbesondere im Hinblick auf die Weiternutzung durch den bisherigen Konzessionär. Das *Gesuch um Erneuerung der bestehenden Konzession* muss mindestens 15 Jahre vor deren Ablauf gestellt werden. Die zuständigen Behörden entscheiden mindestens zehn Jahre vor Ablauf der Konzession, ob sie grundsätzlich zu einer Erneuerung bereit sind. Die Konzessionserneuerung für wiederum höchstens 80 Jahre kann sofort oder zu einem vereinbarten späteren Zeitpunkt (maximal 25 Jahre nach dem Erneuerungsentscheid) in Kraft gesetzt werden (Art. 58a WRG). Nach dem Ablauf der Konzessionsdauer kann die zuständige Behörde ausnahmsweise den *vorläufigen Weiterbetrieb der Anlage* ohne Durchführung eines Konzessionsverfahrens für eine befristete Dauer erlauben (Jagmetti, 2005, S. 437). Die Voraussetzungen für eine neue Konzession dürften meines Erachtens dadurch nicht umgangen werden.

Die *Erneuerung einer bestehenden Konzession* ist mit der Erteilung einer neuen Konzession gleichzusetzen, weshalb alle gesetzlichen Voraussetzungen für eine neue Konzession einzuhalten sind, z.B. gemäss Gewässerschutz, Raumplanung, Natur- und Heimatschutz (BGE 119 Ib 254 ff. E. 5b und 10d; Jagmetti, 2005, S. 435 f.). Massgebend sind somit die im Zeitpunkt der Erteilung der neuen Konzession geltenden Gesetzesbestimmungen. Dies setzt die vorherige Abklärung der umweltschutzrechtlich relevanten Auswirkungen voraus (je nach Ausmass der geplanten Leistung im Rahmen einer formellen Umweltverträglichkeitsprüfung). Es ist darauf hinzuweisen, dass die Vorschriften zu den Restwassermengen (Art. 29 ff. GSchG) spätestens fünf Jahre nach Ablauf der Konzession vollständig eingehalten werden müssen (Art. 58a Abs. 3 WRG).

Konzessionen sind gestützt auf den Grundsatz von Treu und Glauben (Art. 5 Abs. 3 und Art. 9 BV) nach dem Vertrauensprinzip auszulegen. Eine wichtige Frage ergibt sich im Zusammenhang mit *Vorbehalten hinsichtlich der Anwendung des künftigen Rechts* während laufender Konzessionsdauer. Nach der Rechtsprechung sind *allgemein gehaltene, formelhafte Vorbehalte* nur insoweit beachtlich, als kein Eingriff in die Substanz des wohlerworbenen Rechts nötig wird. Weitergehende Eingriffe in das verliehene Recht (z.B. mit Bezug auf die konzedierte Wassermenge oder die Höhe des Wasserzinses) sind zwar möglich, lösen jedoch eine Entschädigungspflicht nach den enteignungsrechtlichen Grundsätzen aus (Art. 43 Abs. 2 WRG). Auch *spezifische Vorbehalte* künftiger Gesetzesänderungen, z.B. bezüglich Landschaftsschutz, sollen nach der Rechtsprechung nicht (ohne Entschädigung) so weit gehen, dass die Nutzung der Wasserkraft zu wirtschaftlich tragbaren Bedingungen verunmöglicht wird (BGE 119 Ib 254 ff. E. 5a). Diese Auslegung erscheint meines Erachtens bezüglich ausdrücklicher Vorbehalte zu bestimmten Punkten angesichts der sehr langen Konzessionsdauern fragwürdig, auch wenn Vorbehalte eine Rechtsunsicherheit mit sich bringen. Zu erwähnen ist, dass der Gesetzgeber die Höhe der Wasserzinsen wohlweislich bereits im Voraus per Ende 2014 und 2019 gestaffelt erhöht hat (Art. 49 Abs. 1 WRG).

Soweit Kraftwerkanlagen gestützt auf eine Konzession erstellt wurden, sind diese – auch im Fall eines öffentlichen Gewässers – im Eigentum des Konzessionärs (z.B. aufgrund einer Baurechtsdienbarkeit). Der betroffene Boden steht hingegen nur in dessen Eigentum, wenn der Konzessionär die Liegenschaft erworben hat (z.B. durch Kauf oder Enteignung; siehe Jagmetti, 2005, S. 439).

Das *Konzessionsverhältnis endet* infolge *Erlöschens der Konzession* (Ablauf ihrer Dauer oder ausdrücklicher Verzicht), durch *Verwirkung* (bei grober Verletzung wichtiger Pflichten) oder durch *Rückkauf* gegen volle Entschädigung, soweit sich das verfassungsberechtigte Gemeinwesen bei der Erteilung der Konzession ein



solches Recht vorbehalten hat (Art. 63 ff. WRG; zum Ende des Konzessionsverhältnisses vgl. Häner, 2011, S. 89 ff.). Werden die Anlagen nach Ende der Konzession nicht weiter benutzt, muss der Konzessionär allenfalls nötige Sicherungsarbeiten vornehmen (Art. 66 WRG).

Ein sog. *Heimfall* der Werke findet nur statt, wenn er in der Konzession festgelegt wurde. Vorbehältlich anderer Bestimmung in der Konzession ist das verleihungsberechtigte Gemeinwesen beim Heimfall befugt, einen Teil der errichteten Anlagen unentgeltlich zu übernehmen. Dies betrifft die Anlagen zum Stauen oder Fassen, Zu- oder Ableiten des Wassers, die Turbinenanlage und den zum Betrieb des Wasserwerks dienenden Boden (sog. „nasse“ Teile). Die Anlagen zum Erzeugen und Fortleiten elektrischer Energie (elektrische Teile) kann das Gemeinwesen gegen eine billige (d.h. angemessene) Entschädigung übernehmen. Der Konzessionär ist verpflichtet, die Anlagen und Einrichtungen, an denen das Heimfallrecht besteht, in betriebsfähigem Zustand zu erhalten. Dabei werden Modernisierungs- und Erweiterungsinvestitionen vergütet, welche mit dem Gemeinwesen vorgängig abgesprochen wurden. Das heimfallberechtigte Gemeinwesen kann den Wert des Heimfallrechts mit Zustimmung des Konzessionärs als Beteiligungsquote in das bestehende Unternehmen einbringen oder auf andere Weise verwerten (Art. 67 WRG).

Findet die Konzession ihr Ende durch Ablauf ohne Heimfall oder durch Verwirkung oder Verzicht, so verbleiben mangels anderer Vorschrift in der Konzession die auf privatem Boden errichteten Anlagen ihrem bisherigen Eigentümer, während die auf öffentlichem Boden stehenden Anlagen an das verleihungsberechtigte Gemeinwesen übergehen (Art. 69 Abs. 1 WRG). Werden die auf öffentlichem Boden befindlichen Anlagen weiter benutzt, so hat das Gemeinwesen dem früheren Konzessionär eine angemessene Vergütung zu leisten. Bei Verwirkung oder Verzicht kann das Gemeinwesen das Werk über den Weg des Rückkaufs oder Heimfalls erwerben, sofern dies in der Konzession vorgesehen ist (Art. 69 Abs. 2 und 3 WRG). In den letzten zehn Jahren vor Ablauf der Konzession muss der Konzessionär alle von den Behörden angeordneten Umbau- und Modernisierungsmassnahmen gegen volle Entschädigung durchführen, wenn das Werk an einen anderen Betreiber übergehen soll (Art. 69a WRG).

Das *Konzessionsverfahren* wird durch die Kantone geregelt, soweit der Bund keine speziellen Vorschriften aufgestellt hat (Art. 60 Abs. 1 WRG). Für die Errichtung von Wasserkraftanlagen sind je nach Umständen folgende vom *Bundesrecht vorgesehenen Bewilligungen* erforderlich: Bewilligung zur Wasserentnahme nach Gewässerschutzrecht (zur Sicherung angemessener Restwassermengen, Art. 29 ff. GSchG), Bau- oder Ausnahmebewilligung nach Raumplanungsrecht (Art. 22, 24 RPG), Bewilligung nach Natur- und Heimatschutzrecht, wenn die Ufervegetation

beseitigt werden soll (Art. 22 Abs. 2 NHG) oder wenn ein Eingriff in ein Biotop geplant ist (Art. 18 Abs. 1 NHG), Ausnahmegewilligung nach Waldgesetz (Art. 5 Abs. 2 WaG), sofern eine Rodung nötig ist, Bewilligung nach Fischereirecht (Art. 8 Fischereigesetz), integriert in jene der Wasserentnahme (nach Art. 29 GSchG), wenn Interessen der Fischerei tangiert sind.

Angesichts des fortschreitenden Klimawandels ist mit einem markanten Gletscherschwund und erheblichen Veränderungen im Niederschlags- und Abflussregime in den Alpen zu rechnen. Eine Aufstellung des Bundesamts für Energie (Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz, Stand Anfang 2009) dokumentiert, dass zwischen 2012 und 2050 rund 283 Wasserkraft-Konzessionen ablaufen werden. Im Zeitraum von 2035 bis 2055 werden besonders viele Konzessionen ablaufen. Es stellt sich bei dieser brisanten Ausgangslage die bedeutsame Frage, was mit den bestehenden Kraftwerken bzw. Konzessionen geschehen wird. Viele Gemeinwesen müssen sich klar werden, ob sie das ihnen je nach Konzessionsinhalt zustehende Heimfallrecht ausüben wollen.

Dabei ist zu evaluieren, ob die Gemeinwesen die Wasserkraftanlagen selbst nutzen oder sie dem bisherigen oder einem neuen Konzessionär übertragen möchten. Eine sinnvolle Variante dürfte eine Partnerschaft mit dem bisherigen oder mit einem neuen Konzessionär sein. Die erstellten Wasserkraftanlagen weisen oft hohe Anlagewerte auf. Allerdings wird es für die betroffenen Gemeinwesen im Hinblick auf den Heimfall wichtig sein, den Unterhalt, die Erneuerung und Modernisierung der jeweiligen Anlagen durch die Gesellschaften rechtzeitig sicherzustellen. Dies setzt Kenntnisse über den Zustand und Wert der Kraftwerkanlagen voraus. Zu planen ist auch die Finanzierung für die allfällige Übernahme des elektrischen Werkteils der Wasserkraftanlagen gegen angemessene Entschädigung (vgl. z.B. [www.wasserkraftwallis.ch](http://www.wasserkraftwallis.ch)). Schliesslich sollten die langfristigen Veränderungen (abnehmender Abfluss, neue Seen, veränderte Gefahren etc.) sorgfältig in die Beurteilung und Entscheidung einbezogen werden.

### *Bundesbeiträge für Kleinwasserkraftwerke (kostendeckende Einspeisevergütung)*

Das Energiegesetz (EnG) soll zu einer ausreichenden, breit gefächerten, sicheren, wirtschaftlichen und umweltverträglichen *Energieversorgung* beitragen. Es bezweckt a) die Sicherstellung einer wirtschaftlichen und umweltverträglichen Bereitstellung und Verteilung der Energie, b) die sparsame und rationelle Energienutzung und c) die verstärkte Nutzung von einheimischen und erneuerbaren Energien. Die durchschnittliche Jahreserzeugung von Elektrizität aus erneuerbaren Energien

ist bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Stand im Jahr 2000 um mindestens 5'400 Gigawattstunden (GWh) zu erhöhen. Die durchschnittliche Jahreserzeugung von Elektrizität aus Wasserkraftwerken ist bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Stand im Jahr 2000 um mindestens 2'000 GWh zu steigern (Art. 1 EnG). Als wichtigste Massnahme wurde die sog. *kostendeckende Einspeisevergütung / KEV* (zur Deckung der Differenz zwischen der festgelegten Vergütung und dem Marktpreis) für folgende Technologien eingeführt: *Wasserkraft bis 10 Megawatt* (MW), Sonnenenergie, Windenergie, Geothermie, Biomasse und Abfälle aus Biomasse. Es werden Anlagen berücksichtigt, die nach dem 1. Januar 2006 in Betrieb genommen bzw. erheblich erweitert oder erneuert wurden bzw. werden (Art. 7a Abs. 1 EnG). Die Amortisations- und Vergütungsdauer beträgt für Kleinwasserkraftanlagen 25 Jahre (zu den Anschlussbedingungen für Kleinwasserkraftanlagen siehe Anhang 1.1 der Energieverordnung). Mit Bezug auf Gletscherseen ist denkbar, dass künftig durch die KEV unterstützte Projekte geplant werden, was zu Interessenkonflikten mit dem Natur- und Landschaftsschutz führen kann (vgl. Kap. 6.3.6, 6.3.9).

### 6.3.3 Gewässerschutz im Zusammenhang mit der Wasserkraftnutzung

#### *Sicherung angemessener Restwassermengen*

Gestützt auf Art. 76 Abs. 3 BV erlässt der Bund Vorschriften über den Gewässerschutz, die Sicherung angemessener Restwassermengen, den Wasserbau, die Sicherheit der Stauanlagen und die Beeinflussung der Niederschläge. Das Gewässerschutzgesetz (GSchG) enthält in Art. 29 ff. zwingende Vorschriften über die *Mindestrestwassermengen* (BGE 119 Ib 254 ff. E. 10 he, 298). Es handelt sich dabei um die Abflussmenge eines Fliessgewässers, die nach einer oder mehrerer Entnahmen von Wasser verbleibt (Art. 4 Bst. k GSchG). Wer erhebliche Mengen (d.h. über den Gemeindegebrauch hinaus) Wasser einem Fliessgewässer mit ständiger Wasserführung oder aus Seen oder Grundwasservorkommen entnimmt, braucht eine kantonale *gewässerschutzrechtliche Bewilligung* (Art. 29 Bst. a und b GSchG), wobei diese die fischereirechtliche Bewilligung für technische Eingriffe in Gewässer mitumfasst (Art. 8 Abs. 4 Fischereigesetz).

Für Wasserentnahmen aus Fliessgewässern mit ständiger Wasserführung bestimmt Art. 31 GSchG genau, wie hoch die Restwassermenge bezogen auf die jeweilige *Abflussmenge*  $Q_{347}$  sein muss. Darunter ist die Abflussmenge zu verstehen, welche über zehn Jahre gemittelt durchschnittlich während 347 Tagen des Jahres erreicht oder überschritten wird und die durch Stauung, Entnahme oder Zuleitung von Was-

ser nicht wesentlich beeinflusst ist (Art. 4 Bst. h GSchG). Wichtige Stufen sind Abflussmengen  $Q_{347}$  bis 60 l/s (Restwassermenge mindestens 50 l/s), 160 l/s (Restwassermenge mindestens 130 l/s), 500 l/s (Restwassermenge mindestens 280 l/s), 2'500 l/s (Restwassermenge mindestens 900 l/s), 10'000 l/s (Restwassermenge mindestens 2'500 l/s) und ab 60'000 l/s (Restwassermenge mindestens 10'000 l/s). Die nach Art. 31 Abs. 1 GSchG berechnete Restwassermenge muss nach Abs. 2 dieser Bestimmung erhöht werden, um z.B. folgende Anforderungen zu erfüllen: Einhaltung der vorgeschriebenen Wasserqualität der Oberflächengewässer (Bst. a), genügende Speisung der Grundwasservorkommen für die Trinkwasserversorgung und den Wasserhaushalt landwirtschaftlich genutzter Böden (Bst. b), Erhaltung seltener Lebensräume und -gemeinschaften (Bst. c), Gewährleistung der erforderlichen Wassertiefe für die freie Fischwanderung (Bst. d), Gewährleistung der Funktion bestimmter Gewässer als Laichstätten oder als Aufzuchtgebiete von Fischen (Bst. e).

In Art. 32 GSchG sind *Ausnahmefälle* aufgezählt, bei denen die *Mindestrestwassermengen tiefer angesetzt* werden können, z.B. bei kleineren Fließgewässern (Abflussmenge  $Q_{347} < 50$  l/s) auf einer Strecke von 1'000 m unterhalb einer Wasserentnahme aus einem Gewässer, das höher als 1'700 m liegt oder aus einem Nichtfischgewässer, das zwischen 1'500 bis 1'700 m liegt (Bst. a), bei Wasserentnahmen aus Nichtfischgewässern bis zu einer Restwasserführung von 35 % der Abflussmenge  $Q_{347}$  (Bst. b), auf einer Strecke von 1'000 m unterhalb einer Wasserentnahme in Gewässerabschnitten mit geringem ökologischen Potenzial, soweit die natürlichen Funktionen des Gewässers nicht wesentlich beeinträchtigt werden (Bst. b<sup>bis</sup>), im Rahmen einer Schutz- und Nutzungsplanung für ein begrenztes, topographisch zusammenhängendes Gebiet, sofern ein entsprechender Ausgleich durch geeignete Massnahmen, wie Verzicht auf andere Wasserentnahmen, im gleichen Gebiet stattfindet; die Schutz- und Nutzungsplanung bedarf der Genehmigung des Bundesrates (Bst. c) und schliesslich in Notsituationen zur Trinkwasserversorgung, für Löschzwecke oder zur landwirtschaftlichen Bewässerung (Bst. d).

Die Behörden sind zur *Erhöhung der Mindestrestwassermenge* in dem Ausmass verpflichtet, als es sich aufgrund einer Abwägung der Interessen für und gegen die vorgesehene Wasserentnahme ergibt (Art. 33 Abs. 1 GSchG). Zu den Interessen für eine Wasserentnahme zählen z.B. wirtschaftliche Interessen des Wasserherkunftsgebiets und der Wasserkraftbetreiber sowie das Interesse an der Energieversorgung. Interessen gegen die Wasserentnahme sind z.B. die Bedeutung der Gewässer als Landschaftselement sowie als Lebensraum für die davon abhängige Tier- und Pflanzenwelt, samt deren Artenreichtum (insbesondere Fischbestände), die Erhaltung einer Wasserführung im Hinblick auf die Anforderungen an die Wasserquali-

tät, die Erhaltung eines ausgeglichenen Grundwasserhaushalts und die Sicherstellung der landwirtschaftlichen Bewässerung (Art. 33 Abs. 2 und 3 GSchG).

Der Gesuchsteller für eine Wasserentnahme hat der zuständigen (i.d.R. kantonalen) Behörde einen *Restwasserbericht* über die Auswirkungen unterschiedlich grosser Wasserentnahmen auf die Interessen an der Wasserentnahme (Herstellung elektrischer Energie, Kosten) sowie über voraussichtliche Beeinträchtigungen in Bezug auf Natur, Umwelt, Trinkwasserversorgung und landwirtschaftliche Bewässerung zu unterbreiten (Art. 33 Abs. 4 GSchG).

Sollte einem Gletschersee Wasser entnommen und dadurch die Wasserführung eines Fliessgewässers wesentlich beeinflusst werden, so ist das Fliessgewässer nach den erwähnten Regeln von Art. 31, 33 GSchG zu schützen (Art. 34 GSchG).

Die Behörde bestimmt im Einzelfall die Dotierwassermenge und die anderen Massnahmen, die zum Schutz der Gewässer unterhalb der Entnahmestelle notwendig sind. Die *Dotierwassermenge* ist die Wassermenge, die zur Sicherstellung einer bestimmten Restwassermenge bei der Wasserentnahme im Gewässer belassen wird (Art. 4 Bst. 1 GSchG). Sie kann zeitlich unterschiedlich festgelegt werden. Die Wassermenge nach Art. 31 und 32 GSchG darf nicht unterschritten werden. Vor dem Entscheid sind die interessierten Fachstellen, bei grösseren Projekten auch der Bund anzuhören (Art. 35 GSchG).

Für *bestehende Wasserkraftwerke* sind die übergangsrechtlichen Bestimmungen zur *Sanierung von Fliessgewässern* bedeutsam. Wird ein Fliessgewässer durch Wasserentnahmen wesentlich beeinflusst, so muss es unterhalb der Entnahmestelle nach den Anordnungen der Behörde so weit saniert werden, als dies ohne entschädigungsbegründende Eingriffe in bestehende Wassernutzungsrechte möglich ist (Art. 80 Abs. 1 GSchG). „Neue Rechtsvorschriften von allgemeiner Tragweite sind grundsätzlich anwendbar, auch wenn sie wohlerworbene Rechte verkürzen.“ (Riva, 2011, S. 68). Wo die Schwelle zwischen entschädigungslosen und entschädigungsbedürftigen Massnahmen liegt, ist umstritten. Das Bundesgericht wendet bei wohl-erworbenen Rechten (dazu auch Kap. 6.3.2) zur Wassernutzung die sog. *Substanztheorie* an. „Geschützt ist dabei nur die Substanz des wohlerworbenen Rechts, nicht dessen Ausübung, die durch die jeweilige Rechtsordnung bestimmt wird.“ (BGE 131 I 321 ff. E. 5.3). Eingriffe in die Substanz des verliehenen Wasserrechts (Verkleinerung von Befugnissen, Auferlegung neuer Lasten) sind nur gegen Entschädigung zulässig. Dies gilt auch, wenn in Konzessionen ein allgemeiner *Vorbehalt der bestehenden und künftigen Gesetze* des Bundes und der Kantone enthalten ist. Der Vorbehalt entfaltet seine Wirkung, soweit das neue Recht nicht in die Substanz der wohlerworbenen Rechte eingreift. Entsprechendes gilt grundsätzlich auch

ohne Vorbehalt, doch bedeutet dies zumindest eine Klarstellung (BGE 107 Ib 140 ff. E. 3b und 4).

Restwasserauflagen wirken sich unterschiedlich auf die einzelnen Wasserkraftwerke aus. Wie gross jene sein dürfen, ohne dass ein entschädigungsbegründender Eingriff vorliegt, ist in jedem Einzelfall neu zu beurteilen. Gemäss Rechtsprechung und Lehre dürften Produktionseinbussen von 3–5 % in den meisten Fällen tragbar bzw. zumutbar sein (ausführlich zu diesen Fragen: Riva, 2007, S. 151 ff.; ferner BGE 107 Ib 140 ff.). Bei guter bis sehr guter Ertragslage können Massnahmen angeordnet werden, die Produktions- oder Erlösminderungen von über 5 % zur Folge haben (BGE 139 II 28 ff.).

Die Behörde ordnet weitergehende Sanierungsmassnahmen an, wenn es sich um Fliessgewässer in Landschaften oder Lebensräumen handelt, die in nationalen oder kantonalen Inventaren aufgeführt sind, oder wenn dies andere überwiegende öffentliche Interessen erfordern (Art. 80 Abs. 2 GSchG). Die Sanierungen sollten bis spätestens Ende 2012 abgeschlossen sein, wobei die *Fristen für die Sanierungsmassnahmen* nach der Dringlichkeit des Einzelfalls festzulegen sind (Art. 81 GSchG). Als Grundlage für die Sanierungen haben die Kantone *Inventare der bestehenden Wasserentnahmen* zu erstellen. Die Inventare sollen Angaben liefern über die entnommene Wassermenge, die Restwassermenge, die Dotierwassermenge und die rechtlichen Verhältnisse. Gestützt darauf entscheiden die Kantone, ob und in welchem Ausmass eine Sanierung notwendig ist und halten dies in einem Bericht fest. Die Inventare und der Bericht sind dem Bund einzureichen (Art. 82 GSchG).

Schliesslich regelt Art. 83 GSchG die Sicherung angemessener Restwassermengen für *geplante Wasserentnahmen bei bereits erteilter Konzession* (vor dem Inkrafttreten des GSchG am 24. Januar 1991). Der Schutz der Gewässer unterhalb der Entnahmestelle muss durch Massnahmen so weit gewährleistet werden, als dies ohne entschädigungsbegründende Eingriffe in bestehende Wassernutzungsrechte möglich ist. Ist die Konzession nach dem 1. Juni 1987 erteilt worden, begründen Massnahmen nach Art. 31 GSchG (festgelegte Mindestrestwassermengen) keine Entschädigungspflicht. Soweit überwiegende öffentliche Interessen einen weitergehenden Schutz fordern, ordnet die Behörde die notwendigen Massnahmen im Sinne von Art. 33 GSchG (Erhöhung der Mindestrestwassermenge) spätestens vor Beginn der Bauarbeiten für die Anlagen zur Wasserentnahme gegen Entschädigung an.

## *Gewässerraum*

Die Kantone legen nach Anhörung der betroffenen Kreise den *Raumbedarf der oberirdischen Gewässer* bis Ende 2018 fest, um folgende Funktionen des Gewässerraums zu gewährleisten: natürliche Funktionen der Gewässer, Schutz vor Hochwasser und die Gewässernutzung (Art. 36a GSchG). Für den *Gewässerraum* gilt die Regelung von Art. 41a ff. der Gewässerschutzverordnung (GSchV). Der Gewässerraum für *Fliessgewässer* (z.B. Gletscherbäche) ist in Art. 41a GSchG detailliert, d.h. auf Meter genau, geregelt. Die Verordnung enthält unterschiedliche Vorgaben für Fliessgewässer in Schutzgebieten (z.B. Biotope, Moorgebiete und Landschaften von nationaler Bedeutung oder kantonale Schutzgebiete) und in übrigen Gebieten (Abs. 1 und 2). Die Breite des Gewässerraums ist zu erhöhen zum Schutz vor Hochwasser, um den für eine Revitalisierung erforderlichen Raum zu gewährleisten, wegen spezieller Schutzziele oder anderer überwiegender Interessen des Natur- und Landschaftsschutzes und zur Gewährleistung der Gewässernutzung (Abs. 3). Auf die Festlegung des Gewässerraums kann nach Abs. 5 bei Fliessgewässern verzichtet werden, soweit keine überwiegenden Interessen entgegenstehen, z.B. bei Gewässern in hochgelegenen Gebieten oder bei künstlich angelegten Gewässern (z.B. Kraftwerkskanäle). Überwiegende Interessen, die eine Ausscheidung des Gewässerraums erfordern, sind z.B. Interessen des Hochwasserschutzes, des Natur- und Landschaftsschutzes oder der Gewässernutzung (Erläuternder Bericht des Bundesamts für Umwelt zur Parlamentarischen Initiative Schutz und Nutzung der Gewässer vom 20. April 2011, S. 10–13).

Die Breite des Gewässerraums für *stehende Gewässer* (also z.B. Gletscherseen), muss, gemessen ab der Uferlinie, mindestens 15 m betragen. Sie muss erhöht werden, wenn dies erforderlich ist zur Gewährleistung des Schutzes vor Hochwasser, der Revitalisierung des Gewässers, wegen überwiegender Interessen des Natur- und Landschaftsschutzes und der Gewässernutzung (Art. 41b Abs. 1–2 GSchV). Auf die Festlegung des Gewässerraums kann nach Art. 41b Abs. 4 GSchV unter anderem verzichtet werden bei stehenden Gewässern in hochgelegenen Regionen und bei künstlich angelegten Gewässern, z.B. Speicherseen in den Alpen. Soweit allerdings überwiegende Interessen des Hochwasserschutzes, des Natur- und Landschaftsschutzes sowie der Gewässernutzung zu Konflikten zwischen Schutz und Nutzung führen, ist der Gewässerraum auszuschneiden (Erläuternder Bericht des Bundesamts für Umwelt zur parlamentarischen Initiative Schutz und Nutzung der Gewässer vom 20. April 2011, S. 13–14). Ob für Gletscherseen der Gewässerraum festgelegt werden muss, hängt von der Situation im Einzelfall ab. Geplante Massnahmen zum Hochwasserschutz bzw. zur Gewässernutzung erfordern meines Er-

achtens wegen der zu erwartenden Interessenkonflikte auch bei Gletscherseen die Ausscheidung des Gewässerraums.

Solange die Kantone den Gewässerraum nicht festgelegt haben, bestimmt er sich seit 1. Juni 2011 nach Bundesrecht. Der Gewässerraum beträgt danach bei Fliessgewässern je nach Breite der Gerinnesohle auf einem beidseitigen Streifen bis zu 20 m (Breite). Bei stehenden Gewässern (Seen) von mehr als 0.5 ha auf einem Streifen je 20 m (Übergangsbestimmungen der GSchV zur Änderung vom 4. Mai 2011, Abs. 1–2). Im Gewässerraum dürfen nur standortgebundene, im öffentlichen Interesse liegende Anlagen wie *Fuss- und Wanderwege, Flusskraftwerke oder Brücken* errichtet werden. In dicht überbauten Gebieten (bei Gletscherseen kaum anzutreffen) kann die Behörde für zonenkonforme Anlagen Ausnahmen bewilligen, sofern keine überwiegenden Interessen entgegenstehen (Art. 41c Abs. 1 GSchV: extensive Gestaltung). Rechtmässig erstellte und bestimmungsgemäss nutzbare Anlagen im Gewässerraum sind in ihrem Bestand grundsätzlich geschützt (Art. 41 c Abs. 2 GSchV). Massnahmen gegen die natürliche Erosion der Ufer des Gewässers sind nur zulässig, soweit dies für den Schutz vor Hochwasser erforderlich ist (Art. 41c Abs. 5 GSchV, diese Vorgabe gilt nach der Übergangsbestimmung offenbar erst nach der kantonalen Festlegung des Gewässerraums).

### *Schwall und Sunk, Spülung und Entleerung von Stauräumen, Geschiebehalt*

*Kurzfristige künstliche Änderungen des Wasserabflusses* in einem Gewässer (*Schwall und Sunk*), welche die einheimischen Tiere und Pflanzen sowie deren Lebensräume wesentlich beeinträchtigen (z.B. Abflussmenge bei Schwall mindestens 1.5-mal grösser als bei Sunk), müssen von den Inhabern von Wasserkraftwerken mit baulichen Massnahmen verhindert oder beseitigt werden. Auf Antrag des Kraftwerkinhabers sind bei behördlicher Anordnung auch betriebliche Massnahmen möglich. Die Massnahmen richten sich nach folgenden Kriterien: Grad der Beeinträchtigung und ökologisches Potenzial des Gewässers, Verhältnismässigkeit des Aufwandes, Interessen des Hochwasserschutzes und energiepolitische Ziele zur Förderung erneuerbarer Energien (Art. 39a GSchG, Art. 41e, f und g GSchV).

Der Inhaber einer Stauanlage sorgt nach Möglichkeit dafür, dass bei der *Spülung und Entleerung des Stauraumes* oder bei der Prüfung von Vorrichtungen für das Ablassen von Wasser und die Hochwasserentlastung die Tier- und Pflanzenwelt im Unterlauf des Gewässers nicht beeinträchtigt wird. Für Spülungen und Entleerungen ist eine behördliche Bewilligung nötig. Muss der Inhaber aufgrund ausserordentlicher Ereignisse den Stausee aus Sicherheitsgründen sofort absenken, so ori-



entiert er unverzüglich die Bewilligungsbehörden (Art. 40 GSchG, Art. 42 GSchV).

Der *Geschiebehaushalt* im Gewässer darf durch Anlagen nicht so verändert werden, dass die einheimischen Tiere und Pflanzen, deren Lebensräume, der Grundwasserhaushalt und der Hochwasserschutz wesentlich beeinträchtigt werden (nachteilige Veränderung der morphologischen Strukturen bzw. Dynamik). Die Inhaber der Anlagen treffen dazu geeignete Massnahmen, gestützt auf kantonale Studien und Anordnungen. Die Massnahmen richten sich a) nach dem Grad der Beeinträchtigungen des Gewässers, b) dem ökologischen Potenzial des Gewässers, c) der Verhältnismässigkeit des Aufwandes, d) den Interessen des Hochwasserschutzes, e) den energiepolitischen Zielen zur Förderung erneuerbarer Energien. Im Einzugsgebiet des betroffenen Gewässers sind die Massnahmen nach Anhörung der Inhaber der betroffenen Anlagen aufeinander abzustimmen (Art. 43a GSchG, Art. 42a, b und c GSchV). Wer *Kies, Sand oder anderes Material* ausbeuten oder vorbereitende Grabungen dazu vornehmen will, braucht eine Bewilligung. Falls z.B. der Geschiebehaushalt dadurch nachteilig beeinflusst würde, darf keine Bewilligung erteilt werden (Art. 44 Abs. 1 und 2 GSchG, Art. 43 GSchV).

### *Abgeltung von Einbussen bei der Wasserkraftnutzung*

Art. 22 Abs. 3 WRG sieht vor, dass der Bund den betroffenen Gemeinden *Ausgleichsbeiträge zur Abgeltung erheblicher Einbussen der Wasserkraftnutzung* ausrichtet, sofern diese Einbussen eine Folge der Erhaltung und *Unterschützstellung* schützenswerter *Landschaften von nationaler Bedeutung* darstellen. Die Abgeltungen werden aus den eingenommenen Wasserzinsen finanziert (Art. 49 Abs. 1 WRG). Gestützt auf Art. 22 WRG erliess der Bundesrat die Verordnung über die Abgeltung von Einbussen bei der Wasserkraftnutzung (VAEW). Als schützenswert gilt eine Landschaft, der nationale Bedeutung im Sinne des Natur- und Heimatschutzgesetzes (NHG) zukommt (dazu Kap. 6.3.6). Es ist nicht erforderlich, dass die Landschaft bereits in das BLN-Inventar gemäss Art. 5 NHG aufgenommen ist (Art. 3 VAEW). Das anspruchsberechtigte Gemeinwesen muss in seinem Gesuch an das Bundesamt für Energie glaubhaft machen, dass die Nutzung der Wasserkraft zur Zeit der Gesuchseinreichung in technischer, wirtschaftlicher und rechtlicher Hinsicht möglich wäre (Art. 4 Abs. 1 und 3, Art. 10 Abs. 1 VAEW). Das anspruchsberechtigte Gemeinwesen sorgt dafür, dass die schützenswerte Landschaft unter Schutz gestellt wird; dies hat in grundeigentümerverbindlicher Form auf unbestimmte Zeit bzw. mindestens 40 Jahre lang zu erfolgen. Es sind sämtliche Eingriffe zu verbieten, die den Wert der Landschaft beeinträchtigen könnten (Art. 5

und Art. 12 Abs. 2 VAEW). Der Anspruch auf Ausgleichsbeiträge dauert 40 Jahre (Art. 15 Abs. 1 VAEW). Die Höhe der Ausgleichsbeiträge beträgt 50 % der ermittelten Einbusse (Art. 6 und 7 VAEW). Bei nicht gehöriger Erfüllung der Schutzpflichten kann die Rückerstattung bereits geleisteter Zahlungen angeordnet werden (Art. 16 VAEW). Von total 523 in der vorliegenden Studie (vgl. Kap. 2.2) modellierten Übertiefungen > 1 Hektare liegen 28 in VAEW-Gebieten (von den grossen Übertiefungen > 1 Hektare > 10 Mio. m<sup>3</sup> ist es nur eine).

#### 6.3.4 Erschliessung von Gletscherseen zu touristischen Zwecken

Da Gletscherseen touristisches Attraktionspotenzial bergen, ist deren Erschliessung mittels Seilbahnen, Wanderwegen (sofern nicht schon vorhanden) oder Strassen eine mögliche Entwicklung. Bezüglich *Wanderwegen und Strassen* ist auf die raumplanerischen Ausführungen zu verweisen. Nachfolgend sollen im Zusammenhang mit *Seilbahnen* die Vorgaben des Transportrechts kurz zusammengefasst werden (Details dazu bei Bütler, 2010, S. 411–457). Für die *regelmässige und gewerbsmässige Personenbeförderung* mit Seilbahnen ist das Personenbeförderungsgesetz (PBG) anwendbar. Grundsätzlich steht das Recht zur Personenbeförderung dem Bund zu (Art. 4 PBG). Der Bund kann Dritten für die Personenbeförderung *Konzessionen* für maximal 25 Jahre erteilen (Art. 6 Abs. 1 und Abs. 3 PBG). Vorausgesetzt wird, dass die beantragte Seilbahn den Verkehr zweckmässig und wirtschaftlich erbringen kann (Art. 9 Abs. 2 Bst. a PBG).

Nach dem Seilbahngesetz (SebG) sind für den Bau einer neuen Seilbahn eine Plangenehmigung und eine Betriebsbewilligung des Bundesamts für Verkehr erforderlich. Seilbahnen dürfen nur so gebaut und betrieben werden, dass sie für den Menschen sicher, umweltverträglich, raumplanungskonform und wettbewerbsfähig sind (Art. 3 SebG). Mit der *Plangenehmigung* wird das Recht erteilt, die Seilbahn zu bauen. Mit ihr werden sämtliche für den Bau der Seilbahn erforderlichen Bewilligungen erteilt. Gleichzeitig wird auch die *Personenbeförderungskonzession* erteilt. Die Plangenehmigung setzt neben den sicherheitsrelevanten (technischen) Vorgaben voraus, dass keine wesentlichen öffentlichen Interessen (z.B. der Raumplanung, des Natur- und Heimatschutzes oder des Umweltschutzes) entgegenstehen (Art. 9 SebG).

*Hauptanlagen* sind Bauten und Anlagen, welche überwiegend dem Bahnbetrieb der Seilbahn dienen. Für sog. *Nebenanlagen* wie Skipisten, Beschneiungsanlagen, Restaurants, Parkplätze etc. sind separate Bewilligungsverfahren gemäss den allgemeinen raumplanungs-, bau- und umweltrechtlichen Vorschriften von Bund und Kantonen erforderlich, ausser sie bilden einen integrierenden Bestandteil eines

Seilbahnprojekts (Art. 10 SebG und Botschaft zum Seilbahngesetz, Bundesblatt 2005, S. 895 ff., 913 f.). Bei der Erneuerung und beim Ausbau grosser Skigebiete ist eine *integrale Planung und Behandlung aller Anlagen* (Haupt- und Nebenanlagen) mit Vornahme einer koordinierten, umfassenden Interessenabwägung angezeigt. Der *Grundsatz der Koordination* verlangt eine verfahrensmässige und inhaltliche Abstimmung aller Verfahren und der Gesetzesanwendung (dazu Art. 25a Raumplanungsgesetz und Art. 2 und 3 der Raumplanungsverordnung; Hänni, 2008, S. 449 ff.). Zu erwähnen ist die Pflicht zur *Umweltverträglichkeitsprüfung* für Seilbahnen mit Bundeskonzession (dazu Kap. 6.3.8).

Das Plangenehmigungsgesuch und das Konzessionsgesuch sind beim Bundesamt für Verkehr (BAV) einzureichen (Art. 11 Abs. 1 SebG). Das Verfahren richtet sich nach dem sog. *konzentrierten Entscheidungsverfahren* gemäss Art. 62a–c des Regierungs- und Verwaltungsorganisationsgesetzes (Art. 14 SebG). Das BAV holt Stellungnahmen der betroffenen Fachbehörden ein und führt nötigenfalls ein Bereinigungsverfahren durch. Das Gesuch wird in den amtlichen Publikationsorganen der betroffenen Kantone und Gemeinden publiziert und während 30 Tagen öffentlich aufgelegt. Während der 30-tägigen *Auflagefrist* können Bundesämter, Kantone, Gemeinden und Umweltverbände beim BAV Einsprache erheben. Der weitere Rechtsmittelweg führt über das Bundesverwaltungsgericht zum Bundesgericht. Hinzuweisen ist auf die Vollzugshilfe des Bundesamts für Umwelt „Landschaft, Natur und Umwelt bei Seilbahnvorhaben“ (Teil 1 und 2, Bern 2011/2012).

Im Zusammenhang mit der Erschliessung von Gletscherlandschaften ist auf Art. 7 der Seilbahnverordnung (SebV) hinzuweisen: Hochgebirge und Gletscher dürfen nur erschlossen werden, wenn sie sich im Bereich grösserer Tourismusorte befinden und überdurchschnittlich geeignet sind. Neue Gebiete dürfen nur erschlossen werden, wenn sie überdurchschnittliche Standortvorteile aufweisen. Besonders wertvolle Landschaften sollen nicht erschlossen werden. Da diese Verordnungsbestimmung im Seilbahngesetz keine ausreichende Grundlage hat, dürfte sie nicht anwendbar sein (Legalitätsprinzip). Massgebend sind ohnehin die bundesrechtlichen Vorgaben in den Bereichen Raumplanung sowie Natur- und Heimatschutz (dazu Kap. 6.3.5 bis 6.3.7).

Sollten *Bootsfahrten auf Gletscherseen* geplant werden, sind sowohl das Bundesgesetz über die Binnenschifffahrt (BSG) als auch das entsprechende kantonale Recht zu beachten. Grundsätzlich ist die Schifffahrt auf öffentlichen Gewässern frei (Art. 2 Abs. 1 BSG). Für die regelmässige und gewerbsmässige Beförderung ist eine Personenbeförderungskonzession nötig (Art. 1 und Art. 6 PBG). Die Kantone können die Schifffahrt aus öffentlichen bzw. polizeilichen Gründen (z.B. Sicherheit, Naturschutz) einschränken oder verbieten (Art. 3 Abs. 2 BSG).

### 6.3.5 Raumplanungsrechtliche Aspekte

#### *Planungsgrundlagen: Richt- und Nutzungsplanung*

Bund, Kantone und Gemeinden sorgen nach dem Raumplanungsgesetz (RPG) dafür, dass der *Boden haushälterisch genutzt* wird. Natürliche Lebensgrundlagen wie Boden, Wasser und die Landschaft sind zu schützen (Art. 1 Abs. 1 und Abs. 2 Bst. a RPG). Für raumwirksame Aufgaben, d.h. Projekte, welche relevante räumliche Interessenkonflikte (insbes. erhebliche Auswirkungen auf Raum und Umwelt) mit sich bringen, besteht eine *Planungspflicht* (Art. 2 Abs. 1 RPG). Als Planungsgrundsatz gilt, dass die Landschaft zu schonen ist; naturnahe Landschaften und Erholungsräume sollen erhalten bleiben (Art. 3 Abs. 2 RPG). Planungsinstrumente sind die Richt- und Nutzungsplanung von Kantonen und Gemeinden. Die *Richtplanung der Kantone*, welche die Grundzüge der räumlichen Entwicklung aufzeigen muss, ist behördenverbindlich (Art. 6 ff. RPG, Art. 4 ff. Raumplanungsverordnung). Ihr nachgestellt ist die behörden- und grundeigentümergebundene *Nutzungsplanung*, welche die zulässige Nutzung des Bodens parzellenscharf ordnet (Art. 14 ff. RPG, Art. 31 ff. Raumplanungsverordnung). Die Nutzungsplanung unterscheidet Bau-, Landwirtschafts- und Schutzzonen (Art. 14 Abs. 2 RPG). Grundlegend ist die Trennung von Baugebiet (in Bauzonen) und Nichtbaugebiet (übrige Zonen). Gletscherseen befinden sich regelmässig ausserhalb des Baugebiets, häufig im sog. übrigen Gemeindegebiet, teilweise auch in Schutzzonen (z.B. BLN-Gebiete).

Bauten und Anlagen bei oder in der Nähe von Gletscherseen bedürfen einer planungsrechtlichen Grundlage im Richtplan (mit Möglichkeit der Mitwirkung) und im entsprechenden Nutzungsplan (mit demokratischer Mitwirkung und Rechtsmittelverfahren), wenn einem Bauvorhaben überörtliche Bedeutung zukommt (sog. qualifizierte Raumwirksamkeit). Für Anlagen ohne überörtlichen Bezug genügt eine Festlegung im Nutzungsplan. Zur Verwirklichung konkreter Bauvorhaben kann ein projektbezogener *Sondernutzungsplan* dienen. Er zeigt detailliert auf, wo im erfassten Gebiet welche Nutzung vorgesehen ist (Standort, konkrete Ausgestaltung und Erschliessung). Für einzelne projektierte, kleinere Bauten ausserhalb der Bauzonen genügt die vorgängige Rechtskontrolle im Ausnahmewilligungsverfahren nach Art. 24 RPG. Ist für bestimmte Anlagen eine *Umweltverträglichkeitsprüfung* vorgeschrieben, stellt dies ein wichtiges Indiz dar, dass eine Planungspflicht besteht (Bewilligung nur aufgrund einer Nutzungsplanung). Als Beispiele im Zusammenhang mit Gletscherseen sind zu nennen: grössere Wasserkraftwerke, gewichtige wasserbauliche Massnahmen, Seilbahnen etc. Auch bei einer planeri-

schen Festlegung von Grossprojekten sind die Voraussetzungen von Art. 24 RPG, Standortgebundenheit und umfassende Interessenabwägung, einzuhalten (vgl. nachfolgende Ausführungen sowie Hänni, 2008, S. 1 ff., 200 ff.).

### *Voraussetzungen für eine baurechtliche Ausnahmegewilligung*

Geht es um kleinere bauliche Projekte (ohne Planungspflicht) wie z.B. um die Errichtung eines neuen Wanderwegs ausserhalb der Bauzonen, bedürfen diese einer raumplanerischen *Ausnahmegewilligung* im Sinne von Art. 24 RPG: Die Ausnahmegewilligung darf nur erteilt werden, wenn der Zweck der Bauten und Anlagen einen Standort ausserhalb der Bauzonen erfordert und keine überwiegenden Interessen entgegenstehen. Stauseen im Berggebiet, wasserbauliche Anlagen, Seilbahnen oder Berg-Restaurants sind in der Regel auf die spezielle Bodenbeschaffenheit des alpinen Geländes angewiesen. Es ist kein Nachweis erforderlich, dass der gewählte Standort der einzig mögliche ist, d.h. *relative Standortgebundenheit* genügt. Hingegen muss für das geplante Vorhaben ein *sachlich begründetes Bedürfnis* (aktueller und tatsächlicher Bedarf) bestehen. Die für die Ausnahmegewilligung zuständige kantonale Behörde (Art. 25 Abs. 2 RPG) hat im Rahmen der *umfassenden, koordinierten Interessenabwägung* sämtliche Ziele der Raumplanung und Sondernormen aus dem übrigen Bundesrecht (z.B. Natur- und Heimatschutz, Umweltschutz, Gewässerschutz etc.) zu beachten (Art. 25a RPG und Art. 3 RPV). Es ist zu prüfen, ob es *Projektalternativen* gibt, welche Raum und Umwelt weniger beeinträchtigen. Ausnahmegewilligungen können verweigert werden, wenn dies zum Schutz anderer Interessen zweckerforderlich und mit dem Prinzip der Verhältnismässigkeit vereinbar ist (vgl. Hänni, 2008, S. 219 ff.).

### *Koordination und Rechtsschutz*

Im Raumplanungsrecht ist die Frage der genügenden *Koordination* von verschiedenen Verfahren und materiell-rechtlich mit Blick auf die koordinierte Gesetzesanwendung bedeutsam. Die Verwirklichung des Bundesrechts darf nicht durch kantonales Recht vereitelt werden. Erfordert die Errichtung oder Änderung einer Baute oder Anlage Verfügungen mehrerer Behörden, so ist eine Behörde zu bezeichnen, die für ausreichende Koordination (Abstimmung, evtl. Konzentration der Verfahren) sorgt. Solche Verfügungen dürfen keine inhaltlichen Widersprüche enthalten (Art. 25a RPG, Hänni, 2008, S. 449 ff.). Bei der Erstellung oder Abänderung der Richtpläne hat die Bevölkerung ein *Mitwirkungsrecht* (kein Rechtsmittel, Art. 4 RPG). Gegen Nutzungspläne und Ausnahmegewilligungen steht der ordentliche *Rechtsmittelweg* bis an das Bundesgericht offen (Art. 33 f. RPG).

### 6.3.6 Landschaftsschutz

#### *Landschaftskonzept Schweiz*

Das vom Bundesrat im Jahre 1997 erlassene *Landschaftskonzept Schweiz (LKS)* stützt sich auf Art. 13 RPG, Details sind in Art. 14 ff. der Raumplanungsverordnung (RPV) statuiert. Es handelt sich um ein behördenverbindliches, koordinierendes raumplanerisches Instrument des Bundes, um die biologische und landschaftliche Vielfalt zu erhalten und zu fördern. Die allgemeinen Ziele sehen unter den „Naturwerten“ vor, Naturlandschaften, natürliche Landschaftsformen und -elemente in ihrer Eigenart, Vielfalt und Schönheit zu erhalten. Freiräume für die Eigenentwicklung und Dynamik der Natur sind zuzulassen. Das Wasser soll in der Landschaft aufgewertet werden. Angestrebt wird eine „haushälterische, aufwertende Nutzung“: Eingriffe in Landschaften sind zu minimieren. Bauten, Infrastrukturen und andere Anlagen sollen auf das notwendige Minimum beschränkt und zusammengefasst werden.

Gemäss LKS ist im Bereich „Sport, Freizeit und Tourismus“ (Ziff. 3) ein ausgewogenes Verhältnis zwischen durch touristische Transportanlagen erschlossenen und nicht erschlossenen Räumen anzustreben. Die mechanische Erschliessung besonders wertvoller Landschaften soll vermieden bzw. im Hochgebirge auf wenige Gebiete mit überdurchschnittlicher Eignung im Bereich grösserer Tourismusorte beschränkt werden. Im *Wasserbau* (Ziff. 12) nennt das LKS unter anderem folgende Sachziele: Hochwasserschutz in erster Linie mit geeigneten raumplanerischen Massnahmen und durch naturnahen Gewässerhaushalt sicherstellen; bauliche Eingriffe minimieren; keine Schmälerung der Natur- und Landschaftswerte innerhalb des Projektperimeters (wenn nötig, ist durch Ersatzmassnahmen Ausgleich zu schaffen). Für die *Wasserkraftnutzung* (Ziff. 13) strebt das LKS z.B. an: Minimierung der Eingriffe innerhalb des Projektperimeters, um Naturhaushalt und Natur- und Landschaftswerte zu erhalten. Gesamthaft ist durch Ersatzmassnahmen angemessener Ausgleich zu schaffen. Bei der Erneuerung von Wasserkraftnutzungsanlagen sind natur- und umweltschonende Lösungen anzustreben. Wo technisch und wirtschaftlich möglich, sind ökologisch nachteilige Bauten nicht zu erneuern respektive durch ökologisch zweckmässigere zu ersetzen. Im Zusammenhang mit dem LKS ist auch der Leitfaden Umwelt „Landschaftsästhetik, Wege für das Planen und Projektieren“ zu beachten (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 2001).

Das Bundesgericht führt im Entscheid zum Aroser Weisshorn (BGE 136 II 214 ff.; E. 3.1 und E. 6) zur Umsetzung des Landschaftskonzepts mit dem Verweis auf die

eidgenössische Natur- und Heimatschutzkommission aus: Bei „unumgänglichen Bauten und Anlagen in hochalpinen Landschaften“ ist „auf eine landschaftsschonende Projektierung und Gestaltung zu achten ... insbesondere müssen Belastungen, die im Zusammenhang mit Tourismusaktivitäten entstehen, minimiert werden.“ Es „erscheint als besonders wichtig, dass sensible Gelände wie Kreten und Aussichtslagen freigehalten, auf das Gegebene Rücksicht genommen und ein Projekt gut in die Umgebung eingegliedert wird. Die Standortfrage gehört zu den Grundvoraussetzungen eines Projekts und sollte möglichst frühzeitig und umfassend geprüft werden.“ Das Bundesgericht führt weiter aus: „Sehr exponiert stehende, die Naturlandschaft prägende, dominierende oder diese inszenierende Bauten sind grundsätzlich unerwünscht. Für standortgebundene und zwingend notwendige Bauten sind besonders hohe Kriterien an Standort, Dimension und Architektur zu stellen.“ Unberührte und nicht erschlossene Berggipfel oder Kreten dürften – auch ausserhalb von Schutzgebieten von nationaler Bedeutung – nicht bebaut werden, da der Erschliessungsgrad der alpinen Gebiete in der Schweiz schon sehr hoch sei. „An erschlossenen und touristisch intensiv genutzten Standorten muss im Detail geprüft werden, ob sich ein geplanter Neubau in die Landschaft integriert oder nicht.“

### *Landschaftsschutz gemäss Natur- und Heimatschutzgesetz*

#### **Grundsatz der Landschaftsschonung bei der Erfüllung von Bundesaufgaben**

Gemäss Art. 78 BV sind für den *Natur- und Heimatschutz* die Kantone zuständig. Der Bund nimmt bei der Erfüllung seiner Aufgaben Rücksicht auf die Anliegen des Natur- und Heimatschutzes. Er schont Landschaften sowie Natur- und Kulturdenkmäler; er erhält sie ungeschmälert, wenn das öffentliche Interesse es gebietet. Das Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz (NHG) samt Verordnung (NHV) regelt Näheres. Zur *Erfüllung von Bundesaufgaben*, welche häufig durch die Kantone erfolgt, zählen nach Art. 2 NHG unter anderem: die Erteilung von Konzessionen für Seilbahnen (Art. 87 BV), die Erteilung von Wasserkraftkonzessionen durch den Bund (nicht aber durch Kantone oder Gemeinden), Gewährung von Bundesbeiträgen an Planungen, Werke und Anlagen, Bewilligungen zur Wasserentnahme, raumplanerische Ausnahmegewilligungen nach Art. 24 RPG, Bewilligungen zur Beseitigung der Ufervegetation (Art. 22 Abs. 2 NHG) oder für Eingriffe in Biotope (Art. 18 NHG), Bewilligungen nach Waldrecht (Art. 5 Abs. 2 Waldgesetz) oder Fischereirecht (Art. 8 Fischereigesetz). Bei der Erfüllung von Bundesaufgaben ist die Landschaft zu schonen (*Grundsatz der Schonung*) bzw.

ungeschmälert zu erhalten (wo das allgemeine Interesse daran überwiegt), unabhängig von der nationalen, regionalen oder lokalen Bedeutung eines Objekts. So sollen Konzessionen und Bewilligungen z.B. nur unter Bedingungen oder Auflagen erteilt oder aber verweigert werden (Details in Art. 3 und 4 NHG, vgl. Rausch et al., 2004, S. 163 ff., 187).

### **Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler**

Gestützt auf Art. 5 NHG hat der Bundesrat auf dem Verordnungsweg das *Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler* (BLN) erlassen; in dessen Anhang sind die Schutzobjekte von nationaler Bedeutung aufgelistet. In den Erläuterungen zum BLN (herausgegeben vom Eidgenössischen Departement des Innern, Bern 1977) werden diese Schutzobjekte und -ziele genauer umschrieben. Die Inventare sind regelmässig zu überprüfen und zu bereinigen. Im BLN-Inventar befinden sich zahlreiche vergletscherte Landschaften, so z.B. die Berner Hochalpen und Aletsch – Bietschhorn – Gebiet (nördlicher und südlicher Teil, Nr. 1'507 und 1'706), der Rhonegletscher mit Vorgelände (Nr. 1'710), das Gebiet Dent Blanche – Matterhorn – Monte Rosa (Nr. 1'707), die Oberengadiner Seenlandschaft und Berninagruppe (Nr. 1'908) etc. Rund 23 % des Alpenraums gehören zu BLN-Gebieten. Mindestens 20 der inventarisierten Landschaftsobjekte sind leicht bis stark vergletschert, womit diese Schutzgebiete auch für darin liegende Gletscherseen relevant sind (Bütler, 2006, S. 328 ff.). Im Rahmen dieses Nationalfondsprojekts wurden die Überschneidungen von potenziellen Gletscherseen und BLN-Gebieten näher untersucht. Es zeigt sich, dass von total 523 modellierten Übertiefungen > 1 Hektare, wo die Bildung von Gletscherseen bevorsteht bzw. in den kommenden Jahrzehnten wahrscheinlich ist, 335 in BLN-Gebieten liegen. Von den grossen Übertiefungen > 1 Hektare, > 10 Mio. m<sup>3</sup> befinden sich sogar 33 von 39 in BLN-Gebieten.

In das BLN-Inventar aufgenommene Objekte sind in besonderem Masse ungeschmälert zu erhalten (*Grundsatz der ungeschmälerten Erhaltung*), jedenfalls aber unter Einbezug von Wiederherstellungs- oder angemessenen Ersatzmassnahmen grösstmöglich zu schonen (Art. 6 Abs. 1 NHG). *Wiederherstellungsmassnahmen* sind nach bloss vorübergehenden Eingriffen erforderlich. *Ersatzmassnahmen* sollen bei dauerhaften, irreversiblen Eingriffen „angemessenen Ersatz möglichst in derselben Gegend“ (mit ähnlicher ökologischer Funktion) schaffen (Rausch et al., 2004, S. 186). Solche Auflagen sind zusammen mit der Bewilligung anzuordnen (dazu auch Art. 3 Abs. 2 Bst. b NHG). Von der ungeschmälerten Erhaltung eines BLN-Schutzobjekts darf bei der Erfüllung einer Bundesaufgabe nur eventuell abgewichen werden, wenn ihr bestimmte gleich- oder höherwertige Interessen von



ebenfalls nationaler Bedeutung entgegenstehen (Art. 6 Abs. 2 NHG). Zu diesen entgegenstehenden Interessen gehören z.B. die Sicherstellung einer ausreichenden Energie- und Rohstoffversorgung (dazu BGE 115 Ib 311 ff. E. 5a, 318) sowie der Schutz von Menschen, Tieren und erheblichen Sachwerten vor Naturgefahren. Ein Wasserkraftwerksprojekt steht allenfalls dann in nationalem Interesse, wenn es einen mengenmässig bedeutenden Beitrag zur Erzeugung erneuerbarer Energie zu angemessenen Kosten leisten kann (Urteil des Bundesgerichts, 1A.151/2002, vom 22. Januar 2003, E. 4.3).

Lehre und Rechtsprechung unterscheiden zwischen leichten und schweren Eingriffen in BLN-Objekte (dazu Rausch et al., 2004, S. 183 ff.). *Leichte Eingriffe* sind nur mit einem geringfügigen Nachteil für das Schutzziel verbunden. Sie sind zulässig, wenn sie im Rahmen einer Interessenabwägung als gerechtfertigt erscheinen. Zudem dürfen bei solchen Einzeleingriffen, die für sich allein (nur) mit leichten Nachteilen verbunden sind, nicht negative Präjudizien für eine Folgeentwicklung zu erwarten sein, die insgesamt für den Natur- und Heimatschutz zu einem erheblich nachteiligen Ergebnis führen. Zu beachten ist, „dass zahlreiche geringfügige Eingriffe im Ergebnis ebenfalls zu einer unzulässigen Beeinträchtigung führen können.“ (Rausch et al., 2004, S. 184). *Schwere Eingriffe* sind mit umfangreichen, nicht rückgängig zu machenden, auf das Schutzziel ausgerichteten Beeinträchtigungen verbunden. Sie sind nur zulässig, wenn sie durch ein mindestens gleichwertiges Interesse von nationaler Bedeutung gerechtfertigt werden. In jedem Fall ist dafür zu sorgen, dass das Schutzobjekt die grösstmögliche Schonung erfährt, d.h., dass der Eingriff soweit möglich minimiert wird (so wörtlich Urteil des Bundesgerichts, 1A.151/2002, vom 22. Januar 2003, E. 4.1). Nach der Rechtsprechung kann ein BLN-Schutzobjekt – im Sinne einer Aussenwirkung – auch durch grenznahe Anlagen erheblichen Schaden erleiden, wenn diese den bis anhin freien Blick auf das geschützte Gebiet und dessen Unberührtheit beeinträchtigen (BGE 115 Ib 311 ff., E. 5e).

### **Eidgenössische Natur- und Heimatschutzkommission**

Zu erwähnen sind die *Gutachten der Eidgenössischen Natur- und Heimatschutzkommission* (ENHK, Art. 25 Abs. 1 NHG). Die Begutachtung durch die ENHK ist obligatorisch, wenn bei der Erfüllung einer Bundesaufgabe ein BLN-Objekt durch ein Projekt erheblich beeinträchtigt werden kann oder wenn sich grundsätzliche Fragen stellen. Die ENHK gibt in ihren Gutachten zuhanden der Entscheidbehörde an, ob das Objekt ungeschmälert zu erhalten oder wie es zu schonen ist (Art. 7 NHG); eine fakultative Begutachtung ist in weiteren Fällen auch betreffend andere

Bundesinventare möglich (Art. 8 NHG). Nach dem Bundesgericht (Urteil 1A.185/2006 vom 5. März 2007, E. 6.1) wird mit der obligatorischen Begutachtung gewährleistet, dass ein unabhängiges Fachorgan bei der Beurteilung eines Projekts auf die Anliegen des Natur- und Heimatschutzes speziell achtet und dass die zuständigen Instanzen diesbezüglich über zuverlässige Unterlagen verfügen. Dem Gutachten der ENHK kommt dementsprechend grosses Gewicht zu (BGE 127 II 273 E. 4b 280 f.). Es darf nur aus triftigen Gründen vom Ergebnis der Begutachtung abgewichen werden, auch wenn der entscheidenden Behörde eine freie Beweiswürdigung zusteht (BGE 127 II 273 E. 4b 281; BGE 125 II 591 E. 7a, 602).

### *Weitere Rechtsgrundlagen zum Natur- und Landschaftsschutz*

Drei Gebiete der Schweiz sind in die *Liste des Weltnaturerbes* (World Heritage List) aufgenommen worden: Jungfrau – Aletsch (Kantone Bern, Wallis), der Monte San Giorgio im Kanton Tessin sowie die Tektonikarena Sardona (Kantone Glarus, Graubünden, St. Gallen). Das zugrundeliegende Übereinkommen zum Schutz des Kultur- und Naturgutes der Welt von 1972 will Kultur- und Naturgüter von aussergewöhnlichem universellen Wert schützen. Gemäss Art. 5 des Übereinkommens hat sich jeder Vertragsstaat zu bemühen, die geeigneten politischen, rechtlichen, personellen, technischen und wissenschaftlichen Massnahmen zum Schutz dieser Güter zu treffen. Ist ein geschütztes Naturgut durch ernsthafte Gefahren bedroht, so kann es auf Antrag in die „Liste des gefährdeten Erbes der Welt“ aufgenommen werden (Art. 11 Ziff. 4 des Übereinkommens). Die Aufnahme in das UNESCO-Weltnaturerbe ist mit keinem verstärkten rechtlichen Schutz verbunden. Praktisch gesehen dürfte sich das Label eher für den Tourismus positiv auswirken. Von total 523 modellierten Übertiefungen > 1 Hektare liegen 156 im Weltnaturerbe-Gebiet Jungfrau – Aletsch; bei den modellierten Übertiefungen > 1 Hektare > 10 Mio. m<sup>3</sup> sind es 17 von 39.

Dem Natur- und Landschaftsschutz dienen sodann die *Pärke von nationaler Bedeutung*. Zu unterscheiden sind drei Kategorien: Nationalpark, regionaler Naturpark und Naturerlebnispark (Details in Art. 23e ff. NHG sowie im Nationalparkgesetz). Da Natur- und Heimatschutz grundsätzlich Sache der Kantone ist (Art. 78 Abs. 1 BV), spielen *kantonale und kommunale Schutzgebiete* (gestützt auf entsprechende Gesetze, Verordnungen oder Schutzbeschlüsse) eine wichtige Rolle.

### 6.3.7 Biotop- und Artenschutz, Jagd und Fischerei

Bei Gletscherseen steht die Landschaft im Vordergrund, weniger der Schutz von Fauna und Flora. Solche Seen sind wegen den auftretenden, variierenden Naturer-

eignissen keine idealen, natürlichen Fischgewässer. Dennoch können Gletscherseen Lebensraum z.B. für hoch spezialisierte Insekten darstellen; auch Aussetzungen von Fischen sind denkbar.

### *Kompetenzen von Bund und Kantonen*

Im Bereich des Schutzes der Tier- und Pflanzenwelt und zur Erhaltung ihrer Lebensräume (*Biotop- und Artenschutz*) ist der Bund zuständig (Art. 78 Abs. 4 BV). Primär sind deshalb bundesrechtliche Vorschriften zu beachten, insbesondere das Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz (NHG). Gestützt auf Art. 18a NHG bezeichnet der Bundesrat nach Anhören der Kantone die Biotope von nationaler Bedeutung (Lage und Schutzziele). Die Kantone ordnen den Schutz und den Unterhalt der Biotope von nationaler Bedeutung und sorgen für den Schutz und Unterhalt der Biotope von regionaler und lokaler Bedeutung (Art. 18a Abs. 2 NHG und Art. 18b Abs. 1 NHG). Betreffend die *einheimischen Säugetiere und Vögel* sowie die *Fische und Krebse* sind das Jagd- und das Fischereirecht massgeblich; in diesen Gebieten steht dem Bund nur eine Grundsatzgesetzgebungskompetenz zu (Art. 79 BV).

### *Biotop- und Artenschutz*

Das NHG schützt die einheimische Tier- und Pflanzenwelt durch die *Erhaltung genügend grosser Lebensräume (Biotop)*. Besonders zu schützen sind Uferbereiche, Riedgebiete und Moore, seltene Waldgesellschaften, Hecken, Feldgehölze, Trockenrasen und weitere Standorte, die eine ausgleichende Funktion im Naturhaushalt erfüllen oder besonders günstige Voraussetzungen für Lebensgemeinschaften aufweisen. Lässt sich eine Beeinträchtigung schutzwürdiger Lebensräume durch technische Eingriffe unter Abwägung aller Interessen nicht vermeiden, so hat der Verursacher für besondere Massnahmen zu deren bestmöglichem Schutz, für Wiederherstellung oder ansonst für angemessenen Ersatz zu sorgen (Art. 18 Abs. 1, 1<sup>bis</sup> und 1 NHG).

### **Auengebiete von nationaler Bedeutung**

Im Zusammenhang mit Gletscherseen ist der Schutz der Auengebiete zu behandeln. Die *Auengebiete von nationaler Bedeutung* sind im Anhang der vom Bundesrat erlassenen Auenverordnung aufgelistet. Darunter sind zahlreiche Gletschervorfelder zu finden, z.B. Nr. 1'216 Rosenlaugletscher (Kanton Bern), Nr. 1'020 Silvrettagletscher (Kanton Graubünden), Nr. 1'238 Vadret da Morteratsch (Kanton

Graubünden) und Nr. 1'154 Feegletscher Nord (Kanton Wallis). Nach Art. 4 der Auenverordnung sollen die Objekte ungeschmälert erhalten werden. Es sind die autotypische einheimische Pflanzen- und Tierwelt und ihre ökologischen Voraussetzungen zu erhalten und zu fördern; die natürliche Dynamik des Gewässer- und Geschiebehaushalts soll erhalten und, soweit es sinnvoll und machbar ist, wiederhergestellt werden; die geomorphologische Eigenart ist zu bewahren. Ein *Abweichen vom Schutzziel* ist nur zulässig für unmittelbar standortgebundene Vorhaben, die dem Schutz des Menschen vor schädlichen Auswirkungen des Wassers oder einem andern überwiegenden öffentlichen Interesse von ebenfalls nationaler Bedeutung dienen. Ihr Verursacher ist zu bestmöglichen Schutz-, Wiederherstellungs- oder ansonst angemessenen Ersatzmassnahmen zu verpflichten (Art. 4 Abs. 2 Auenverordnung).

Die Kantone haben die geeigneten Schutz- und Unterhaltsmassnahmen anzuordnen. Sie sorgen unter anderem dafür, dass bestehende und neue Nutzungen, namentlich die (angepasste und nachhaltige) Land- und Forstwirtschaft, die Wasserkraft- und Grundwassernutzung, die Kiesgewinnung, die Schifffahrt und die Erholungsnutzung einschliesslich der Fischerei, mit dem Schutzziel in Einklang stehen (Art. 5 Abs. 2 Bst. c Auenverordnung). Ein gewichtiges Problem ergibt sich aufgrund des starken Gletscherrückgangs, da der Perimeter hochalpiner Auengebiete jeweils direkt an die Gletscherzungen anschliesst. Ziehen sich die betroffenen Gletscher zurück, entsteht zwischen Gletscherzunge und Gebietsperimeter eine Schutzlücke, die nicht im Sinne der erwähnten Ziele des Auenschutzes sein kann. Die Schutzgebiete sollten deshalb von Bund und Kantonen jeweils periodisch an den aktuellen Gletscherstand angepasst werden. Von total 523 modellierten Übertiefungen > 1 Hektare befinden sich 12 in Auengebieten von nationaler Bedeutung. Bei einer Anpassung der Schutzperimeter könnte sich deren Zahl künftig erhöhen.

### **Moore und Moorlandschaften**

In mehreren Gletschervorfeldern befinden sich auch *geschützte Moore und Moorlandschaften*. Solche von besonderer Schönheit und von nationaler Bedeutung wurden vom Bundesrat in speziellen Bundesinventaren bezeichnet. Zu beachten sind jeweils die Vorgaben der Verordnung über den Schutz der Hoch- und Übergangsmoore von nationaler Bedeutung (Hochmoorverordnung, Bsp. Nr. 250 Berg beim Göscheneralpsee, Kanton Uri), der Verordnung über den Schutz der Flachmoore von nationaler Bedeutung (Flachmoorverordnung, Bsp. Nr. 245 Mederlouwenen, Kanton Bern) sowie der Verordnung über den Schutz der Moorlandschaften von besonderer Schönheit und von nationaler Bedeutung (Moorlandschaftsver-

ordnung, Bsp. Nr. 268 Grimsel, Kanton Bern). Es ist darauf hinzuweisen, dass Moore und Moorlandschaften von besonderer Schönheit und gesamtschweizerischer Bedeutung schon gestützt auf die Verfassung praktisch absolut geschützt sind (Art. 78 Abs. 5 BV). Es dürfen darin weder Anlagen gebaut noch Bodenveränderungen vorgenommen werden. Ausgenommen sind Einrichtungen, die dem Schutz oder der bisherigen landwirtschaftlichen Nutzung der Moore und Moorlandschaften dienen.

Für alle genannten Verordnungen gilt: Die Schutzobjekte sind jeweils in den Anhängen zu den einzelnen Verordnungen aufgelistet. Die Umschreibung der Schutzobjekte ist in gesonderten Publikationen zu finden, welche bei den Behörden (BAFU, Kantone) eingesehen werden können. Für nähere Informationen siehe auch [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch) (z.B. mit Web-GIS-Karten).

## *Aspekte zur Jagd und Fischerei*

### **Jagdbanngebiete**

Im Alpenraum gibt es gestützt auf Art. 11 des Bundesgesetzes über die Jagd und den Schutz wildlebender Säugetiere und Vögel (Jagdgesetz, JSG) insgesamt 41 *eidgenössische Jagdbanngebiete*, welche sich teilweise auch auf vergletschertes Gelände erstrecken. Zu nennen sind z.B. die Gebiete Nr. 3 Kiental (Kanton Bern), Nr. 17 Bernina Albris (Kanton Graubünden) und Nr. 35 Bietschhorn (Kanton Wallis). Von total 523 modellierten Übertiefungen > 1 Hektare liegen 17 in solchen Gebieten. Für die Jagdbanngebiete gelten die einschränkenden Vorschriften der Verordnung über die eidgenössischen Jagdbanngebiete (VEJ). Sie dienen dem Schutz und der Erhaltung von seltenen und bedrohten wildlebenden Säugetieren und Vögeln und ihrer Lebensräume sowie der Erhaltung von gesunden, den örtlichen Verhältnissen angepassten Beständen jagdbarer Arten (Art. 1 VEJ). Die Kantone können *weitere Jagdbanngebiete* und Vogelreservate ausscheiden (Art. 11 Abs. 4 JSG).

### **Fischereirechtliche Bewilligung bei technischen Eingriffen**

Bringen Wasserkraft- oder Hochwasserschutzprojekte Eingriffe in die Gewässer, ihren Wasserhaushalt oder ihren Verlauf sowie Eingriffe in die Ufer und den Grund von Gewässern mit sich, welche die Interessen der Fischerei berühren, benötigen diese eine sog. *fischereirechtliche Bewilligung* für technische Eingriffe (Art. 8 des Bundesgesetzes über die Fischerei, BGF). Eine Spezialbewilligung ist unter anderem erforderlich für die Nutzung der Wasserkräfte, die Seeregulierung, Fluss- und

Bachverbauungen sowie Uferrodungen, die Schaffung künstlicher Fliessgewässer, maschinelle Reinigungsarbeiten in Fliessgewässern, die Gewinnung und das Waschen von Kies, Sand und anderen Stoffen in Gewässern, Wasserentnahmen und Wassereinleitungen, Verkehrsanlagen, Fischzuchtanlagen etc. (Art. 8 Abs. 3 BGF). Sofern für Wasserentnahmen eine Bewilligung nach Art. 29 des Gewässerschutzgesetzes zur Sicherung angemessener Restwassermengen nötig ist, umfasst diese Bewilligung auch diejenige nach dem Fischereigesetz (Art. 8 Abs. 4 BGF).

### 6.3.8 Umweltverträglichkeitsprüfung und Verbandsbeschwerderecht

Bevor eine Behörde über die Planung, Errichtung oder Änderung von Anlagen entscheidet, prüft sie möglichst frühzeitig deren Umweltverträglichkeit. Der *Umweltverträglichkeitsprüfung* unterstellt sind Anlagen, welche Umweltbereiche erheblich belasten können, sodass die Einhaltung der Vorschriften über den Schutz der Umwelt voraussichtlich nur mit projekt- oder standortspezifischen Massnahmen sichergestellt werden kann (Art. 10a des Umweltschutzgesetzes, USG). Der Gesuchsteller für ein Projekt muss der zuständigen Behörde einen *Umweltverträglichkeitsbericht* einreichen, welcher Grundlage für die Umweltverträglichkeitsprüfung bildet (Art. 10b Abs. 1 USG). Der Bericht enthält alle Angaben, die zur Prüfung des Vorhabens nach den Vorschriften zum Schutz der Umwelt nötig sind. Er ist nach den Richtlinien der Umweltschutzfachstellen zu verfassen und muss *folgende Punkte* enthalten: a) den Ausgangszustand, b) das Vorhaben, einschliesslich der vorgesehenen Massnahmen zum Schutze der Umwelt und für den Katastrophenfall sowie c) die voraussichtlich verbleibende Belastung der Umwelt (Art. 10b Abs. 2 USG).

Zur Vorbereitung des Berichts wird eine *Voruntersuchung* durchgeführt. Falls diese umfassend ist, gelten die Ergebnisse als Bericht. Die zuständige Behörde kann Auskünfte oder ergänzende Abklärungen verlangen oder Gutachten erstellen lassen (Art. 10b Abs. 3 und 4 USG). Die Umweltschutzfachstellen beurteilen die Voruntersuchung und den Bericht und beantragen bei der für den Entscheid zuständigen Behörde die zu treffenden Massnahmen (Art. 10c Abs. 1 USG). Der Umweltverträglichkeitsbericht ist – vorbehältlich überwiegender Geheimhaltungsinteressen – *öffentlich* und kann von jedermann eingesehen werden (z.B. Umweltverbände, Art. 10d Abs. 1 USG). Details sind in der Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) geregelt. Die Umweltverträglichkeitsprüfung wird von der Behörde durchgeführt, die im Rahmen des Bewilligungs-, Genehmigungs- oder Konzessionsverfahrens über das Projekt entscheidet (zuständige Behörde, Art. 5

Abs. 1 UVPV). Teilweise findet eine mehrstufige Prüfung statt (Art. 6 UVPV). Das für die Prüfung massgebliche Verfahren wird im Anhang zur UVPV bestimmt bzw. durch das kantonale Recht bezeichnet (z.B. Verfahren der Sondernutzungsplanung, Art. 5 Abs. 2 und 3 UVPV). Bei Wasserkraftwerken ist dies in der Regel die kantonale Behörde, welche die Konzession erteilt.

Im Anhang zur UVPV sind die *Anlagen* aufgelistet, welche der Umweltverträglichkeitsprüfung unterstellt sind (Art. 1 UVPV). Bei Anlagen, die nicht der UVP-Pflicht unterliegen, sind die umweltrechtlichen Vorschriften anzuwenden, ohne dass ein Umweltverträglichkeitsbericht zu erstellen ist (Art. 4 UVPV). Im Zusammenhang mit Gletscherseen sind folgende Anlagen von Interesse, im Bereich Erzeugung von Energie: Speicher- und Laufkraftwerke sowie Pumpspeicherwerke bei einer installierten Leistung von mehr als 3 Megawatt (Nr. 21.3), Anlagen zur Nutzung der Windenergie mit einer installierten Leistung von mehr als 5 Megawatt (Nr. 21.8), Fotovoltaikanlagen mit einer installierten Leistung von mehr als 5 Megawatt, die nicht an Gebäuden angebracht sind (Nr. 21.9); im Bereich Übertragung und Lagerung von Energie: Hochspannungs-Freileitungen und -kabel (erdverlegt), die für 220 kV und höhere Spannungen ausgelegt sind (Nr. 22.2); im Bereich Wasserbau: Werke zur Regulierung des Wasserstandes oder des Abflusses von natürlichen Seen von mehr als 3 km<sup>2</sup> Seeoberfläche (Nr. 30.1), wasserbauliche Massnahmen wie Verbauungen, Eindämmungen, Korrekturen, Geschiebe- und Hochwasserrückhalteanlagen (bei Kosten von mehr als 10 Mio. Franken, Nr. 30.2), Schüttungen in Seen von mehr als 10'000 m<sup>3</sup> (Nr. 30.3), Ausbeutung von Kies, Sand und anderem Material aus Gewässern von mehr als 50'000 m<sup>3</sup> pro Jahr (Nr. 30.4), im Bereich Sport, Tourismus und Freizeit: Seilbahnen mit Bundeskonzession (Nr. 60.1).

Für die Umsetzung der umweltrechtlichen Vorgaben und Anliegen ist das sog. ideelle *Verbandsbeschwerderecht* von Bedeutung („Anwälte der Natur“). Sind bei der Erfüllung von Bundesaufgaben (dazu die Ausführungen unter Kap. 6.3.6 b) Interessen des Natur- und Heimatschutzes betroffen, steht den vom Bundesrat in einer separaten Verordnung bezeichneten Umweltorganisationen das Einsprache- und Beschwerderecht gegen Verfügungen (darunter fallen auch projektbezogene Nutzungspläne mit Verfügungscharakter) der kantonalen Behörden oder der Bundesbehörden zu (Art. 12 Abs. 1 NHG). Die Verbände können mit Rechtsmitteln bis an das Bundesgericht gelangen. Die näheren Details zum Beschwerderecht sind in Art. 12 ff. NHG zu finden. Auch das Umweltschutzgesetz sieht in Art. 55 ff. USG das Verbandsbeschwerderecht gegen Verfügungen über Anlagen vor, die der formellen Umweltverträglichkeitsprüfung gemäss UVPV unterliegen. Wie vorangehend erwähnt, fallen darunter z.B. grosse Wasserkraftwerke, Windenergie- und

Fotovoltaikanlagen, bedeutende wasserbauliche Massnahmen sowie Seilbahnen für die Personenbeförderung. Das Verbandsbeschwerderecht trägt dazu bei, Projekte aus umweltrechtlicher Sicht zu verbessern oder, wenn dies nicht möglich ist, rechtswidrige Vorhaben zu verhindern (Näheres zur Umweltverträglichkeitsprüfung und zur Verbandsbeschwerde bei Rausch et al., 2004, S. 239 ff. bzw. S. 259 ff.).

### 6.3.9 Interessenabwägung und Konfliktlösung im Einzelfall

Welche Realisierungschancen Bauprojekte wie Wasserkraftwerke, Schutzbauten oder Seilbahnen haben, kann nur eine *sorgfältige Abklärung der tatsächlichen und rechtlichen Umstände bzw. Voraussetzungen* des konkreten Vorhabens zeigen. Erfahrungsgemäss sind für grössere Anlagen umfangreiche Abklärungen in technischer, wirtschaftlicher, ökologischer und rechtlicher Hinsicht nötig.

Bestrebungen zu Nutzung und Schutz von Gletscherseen führen im Spannungsfeld von verschiedenen Ansprüchen fast unausweichlich zu Interessenkonflikten. Grundsätzlich sind die in der Verfassung festgeschriebenen zahlreichen privaten und öffentlichen *Interessen gleichrangig* zu behandeln, z.B. die Eigentumsgarantie (Art. 26 BV), die Nachhaltigkeit (Art. 73 BV), die Wirtschaftsfreiheit (Art. 27 BV), der Umweltschutz (Art. 74 BV), die Raumplanung (Art. 75 BV) und der Natur- und Heimatschutz (Art. 78 BV). Festzuhalten ist, dass die Bundesverfassung die *Erhaltung der natürlichen Umwelt zur Staatsaufgabe* erklärt (Art. 74, 76–80 BV, dazu BGE 134 II 97 ff. E. 3.1 und Hänni, 2008, S. 456 f.).

Teilweise hat der Gesetzgeber *Interessenabwägungen* bereits selber vorgenommen bzw. einzelne Aspekte der allgemeinen Interessenabwägung konkret geregelt, so wenn es z.B. um Eingriffe in Landschaften von nationaler Bedeutung oder in Moore und Moorlandschaften geht (dazu Art. 6 Abs. 2 NHG oder Art. 78 Abs. 5 BV). „Es ist vorweg zu klären, ob das Vorhaben mit diesen Vorschriften vereinbar ist. Erst wenn dies zutrifft, ist die Abwägung aller zu berücksichtigenden gleichgerichteten und gegensätzlichen öffentlichen und privaten Interessen koordiniert durchzuführen.“ (Bütler, 2010, S. 455). Art. 3 der Raumplanungsverordnung (RPV) befasst sich mit der Interessenabwägung für den Fall, dass den Behörden bei Erfüllung und Abstimmung raumwirksamer Aufgaben Handlungsspielräume zustehen. Die betroffenen Interessen sollen ermittelt, beurteilt und möglichst umfassend berücksichtigt werden. Die Interessenabwägung ist in der Begründung der Beschlüsse darzulegen. Die Interessenabwägung kann als Rechtsfrage gerichtlich überprüft werden (BGE 132 II 408 ff., 415 f.). Im Rahmen der Interessenabklärung sind *Alternativen und Varianten* zu prüfen. Würde ein Projekt zu erheblichen und unrechtmässigen



Eingriffen in Natur und Umwelt führen, ist der Verzicht darauf unumgänglich, dazu auch Art. 3 Abs. 2 Bst. a NHG (Ruch, 2010, Rz. 59 ff.).

Soll ein Bauvorhaben (z.B. Wasserkraftwerk, Schutzdamm etc.) geplant und realisiert werden, ist eine eingehende Analyse zu empfehlen. Dabei geht es z.B. um finanzielle und technische Aspekte (Machbarkeitsstudie, Wirtschaftlichkeit und Finanzierung, Gutachten betreffend Naturgefahren), mögliche Auswirkungen auf die Umwelt (Umweltverträglichkeitsbericht), Einbezug der Umweltverbände (Information, Stellungnahme, Einsprachemöglichkeit etc.), rechtliche Abklärungen, behördliche Vorgespräche bzw. Vorprüfungen. Sinnvoll erscheint es, absehbare Konfliktpotenziale frühzeitig zu erkennen und soweit möglich zu vermeiden (z.B. Bauvorhaben in Schutzgebieten).

### 6.3.10 Würdigung und Ausblick

Die vorangehende Analyse zeigt, dass bei der Nutzung und beim Schutz von Gletscherseen erhebliche *Interessenkonflikte tatsächlicher und rechtlicher Art* bestehen. Einerseits müssen Menschen, Siedlungen und Verkehrswege vor Gefahren wie Hochwasser, Überflutungen, Murgängen etc. geschützt werden. Gletscherseen sind für die Stromwirtschaft und den Tourismus attraktiv und für die Trinkwasserversorgung von Bedeutung. Die Förderung einheimischer, erneuerbarer Energien, zu denen die Wasserkraft zählt, ist ein wichtiges Anliegen. Andererseits stellt sich die Frage, wie in den schon stark erschlossenen Alpen wenig berührte Gletscherlandschaften (Gletscher und ihre Vorfelder) und Gewässer (Restwassermengen) erhalten werden können. Es zeigt sich vielerorts, dass erste Erschliessungen gut zu prüfen und zu bedenken sind, da Infrastrukturen früher oder später *Folgeerschliessungen* bedingen oder nach sich ziehen (präjudizielle Wirkung). Häufig werden Werkstrassen oder Transportseilbahnen später auch für den Tourismus geöffnet. Bei *multifunktionalen Bauvorhaben* (z.B. Staudamm für Sicherheit und Stromproduktion) werden verschiedene Erschliessungen von Anfang an mit eingeplant.

Bauliche Eingriffe im Gebirge erweisen sich meist als irreversibel und hinterlassen deutliche Spuren (z.B. Beeinträchtigung des Landschaftsbildes, des Bodens oder von Gewässern), besonders, wenn Touristenattraktionen regen Zustrom auslösen. Es gilt hier, das richtige Verhältnis zwischen Nutzung und Schutz zu finden. Empfehlenswert ist es, die entstehenden Gletscherseen frühzeitig und ausreichend auf ihre *Risiken* und *Potenziale* in glaziologischer, rechtlicher, ökologischer, energie-wirtschaftlicher und touristischer Hinsicht *zu untersuchen und zu bewerten*. Im Einzelfall sind die verschiedenen *öffentlichen und privaten Interessen* zu eruieren. Basierend auf einer *umfassenden Interessenabwägung* ist zu entscheiden, welche

Seen geschützt bzw. genutzt werden sollen. Stets müssen jedoch Eingriffe soweit möglich minimiert und ökologisch bessere Alternativprojekte geprüft werden.

Die rechtlichen Fragen erweisen sich als vielschichtig und komplex: betroffen sind z.B. Bereiche wie Raumplanung (Berücksichtigung von Gefahrenzonen), Energierecht (Förderung erneuerbarer, einheimischer Energien), Transportrecht (Erschliessungen z.B. mittels Seilbahnen), Militärrecht, Wasserrecht (Wasserrechtsverleihungen), Wasserbaurecht (präventive raumplanerische und bauliche Massnahmen zum Hochwasserschutz), Gewässerschutz (z.B. angemessene Restwassermengen und Gewässerraum), Natur- und Umweltrecht (vor allem Landschafts- und Biotopschutz, Umweltverträglichkeitsprüfung und Verbandsbeschwerde) sowie Sachen- und Haftpflichtrecht (Hoheits- und Eigentumsfrage, Haftung bzw. Verantwortung für Schäden nach Naturereignissen).

Bauvorhaben in sensiblen Hochgebirgslandschaften sind aufwendig und anspruchsvoll und dürften – je nach Ausgangslage – auf mehr oder weniger grossen Widerstand stossen. In der vorliegenden Studie konnte nur die *aktuelle Rechtslage* berücksichtigt werden. Die Bildung neuer Gletscherseen wird in den kommenden Jahrzehnten aufgrund der Dynamik der Klimaänderung sehr wahrscheinlich schnell voranschreiten. Eine offene Frage ist, inwieweit sich die politischen, rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen ändern werden, speziell in den Bereichen Raumplanung, Energie und Umweltschutz. Es stellen sich herausfordernde Aufgaben, einen ökologisch und wirtschaftlich sinnvollen, nachhaltigen Umgang mit Gletscherseen zu gewährleisten und die Hochgebirgslandschaften intakt zu erhalten.



## 7 FALLBEISPIELE

---

Nachfolgend werden einige charakteristische Beispiele von neuen Seen vorgestellt. Bei drei Seen wurden im Sommer 2010 mittels Gummiboot und Lot Tiefenmessungen vorgenommen und daraus Seegrund und Seevolumen ermittelt (Tab. 5). Da die verwendeten Interpolationsverfahren eher zu konservativen Werten führen, dürften die tatsächlichen Volumen tendenziell höher liegen. Blass et al. (2003) berechneten für den Steinsee und das Jahr 1999 aufgrund seismischer Untersuchungen eine Maximaltiefe von 20 m und ein Volumen von 1.255 Mio. m<sup>3</sup>, was ca. 300'000 m<sup>3</sup> über unseren Schätzungen liegt (Tab. 5) und die These von eher zu tiefen Schätzwerten stützt. Es ist jedoch auch denkbar, dass das Volumen des Steinsees seit 1999 aufgrund der Sedimentation abgenommen hat. Dies würde einer sehr hohen Sedimentationsrate von 0.2 m pro Jahr entsprechen. Weitere Messpunkte und bessere Methoden zur Tiefenmessung könnten die Unsicherheiten bezüglich der Volumen reduzieren.

Tab. 5: Volumenschätzungen für drei Seen. <sup>a, b, c</sup> bezeichnen die verwendeten Interpolationsverfahren: TIN, Topo to Raster (contours) und Topo to Raster (spot).

See	Messpunkte	Fläche (m <sup>2</sup> )	Messpunkte pro ha	Maximaltiefe (m)	Vol. (m <sup>3</sup> ) <sup>a</sup>	Vol. (m <sup>3</sup> ) <sup>b</sup>	Vol. (m <sup>3</sup> ) <sup>c</sup>	Messdatum
Chüeboden	26	73'000	3.6	28.8	615'000	625'000	615'000	20.8.2010
Palü	12	69'000	1.7	18.0	485'000	485'000	410'000	9.8.2010
Stein	22	110'000	2	17.1	850'000	900'000	805'000	21.8.2010

### 7.1 Vadret da Palü, GR

Der Palügletscher zog sich zwischen 1991 und 1998 über die Felswand in Richtung Westen zurück und hinterliess eine abgetrennte Gletscherzunge. Bis 2003 war diese weitgehend geschmolzen und hatte einem See Platz gemacht (Fig. 19).

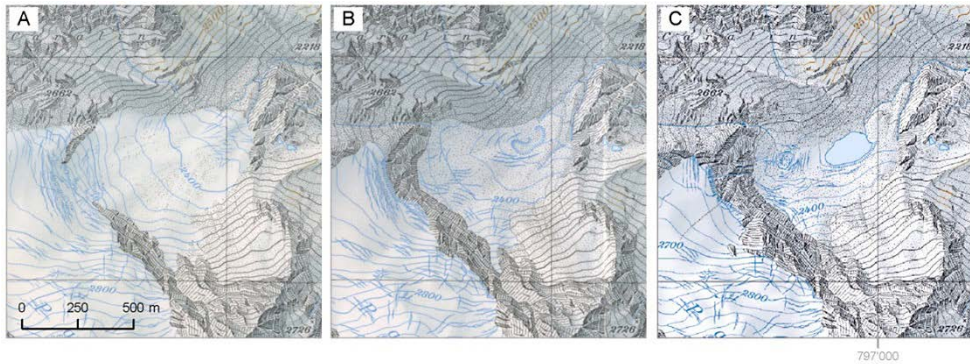


Fig. 19: Die Entstehung des Sees beim Palüglatscher dokumentiert an den Kartenständen 1991(A), 1998(B) und 2003(C). Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA110005).

Im Sommer 2010 waren nur noch wenige Eisreste auf der orographisch rechten Talseite sichtbar (Fig. 24). Der See erstreckt sich heute im Südwesten bis an die Felswand. Mittels einfacher Methode (Lot, Gummiboot) wurden im Sommer 2010 Tiefenmessungen durchgeführt. Die gemessene Maximaltiefe lag bei 18 m. Das modellierte Gletscherbett weist im Perimeter des heutigen Sees ebenfalls eine Übertiefung auf, unterschätzt jedoch die Seefläche um ca. 50 % und überschätzt die Tiefe.

Der See ist im Südwesten von hohen, fast senkrechten Felswänden umgeben, deren Eisabstützung sich teilweise stark verändert hat. Ein Felssturz aus diesen Wänden würde den See erreichen und könnte eine Flutwelle auslösen. Der Wanderweg zum See wurde in den letzten Jahren ausgebaut und der See ist zu einem beliebten Ausflugsziel geworden. An einem schönen Julitag im Jahr 2010 fanden sich zur Tagesmitte innerhalb zweier Stunden ca. 50 Personen ein. Sollte sich ein Felssturz in den See ereignen, wären diese akut gefährdet.

## 7.2 Chüebodengletscher, VS, TI

Der Chüebodengletscher liegt in einem Kar auf der Kantonsgrenze zwischen dem Wallis und dem Tessin (Fig. 20). Noch 1988 existierten am Chüebodengletscher nur kleine Tümpel am westlichen Gletscherrand (Beobachtung und Fotoaufnahme von W. Haeblerli). Die Seebildung ist auf der Landeskarte von 2002 (Kartenstand: 1999) sichtbar. Die Wasserfläche betrug im Jahre 2006 ca. 45'000 m<sup>2</sup> und wuchs bis zum Sommer 2010 auf ca. 70'000 m<sup>2</sup> an, was einer Zunahme von ca. 6'000 m<sup>2</sup> pro Jahr entspricht (Tab. 5).

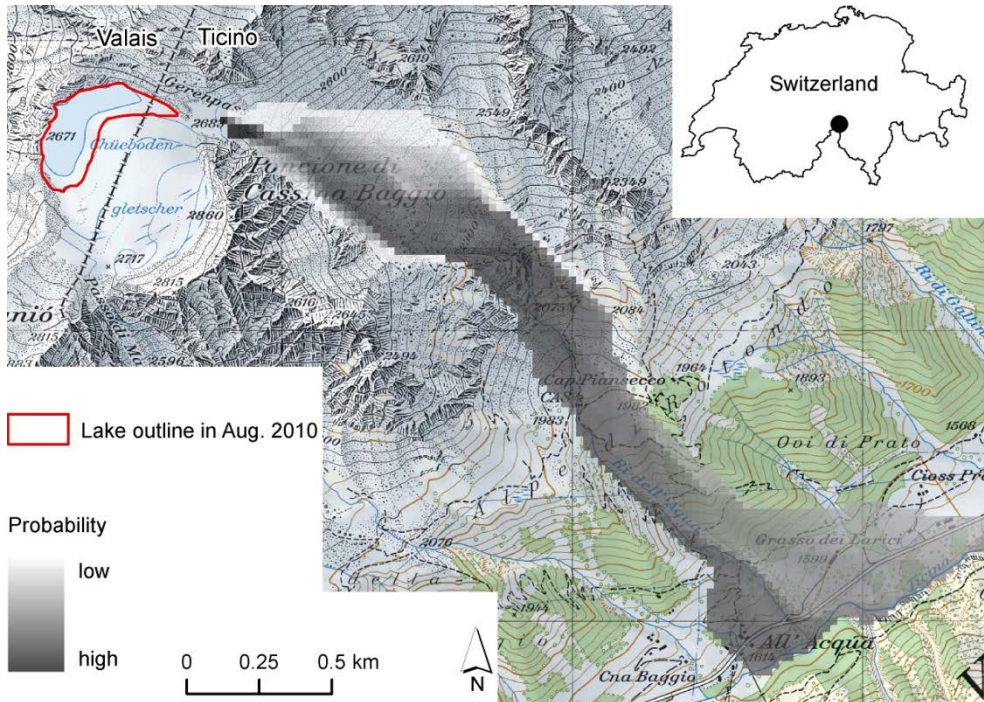


Fig. 20: Chüebodengletscher und Seeausdehnung 2010 (rot). Die Graustufen geben eine qualitative Wahrscheinlichkeit an, dass eine bestimmte Fläche betroffen wird im Falle eines Seeausbruchs. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA110005).

Im Sommer 2010 wurden mittels Gummiboot 26 Tiefenmessungen durchgeführt und das Seevolumen auf ca. 600'000 m<sup>3</sup> geschätzt. Die gemessene Maximaltiefe lag bei 29 m. Das modellierte Gletscherbett zeigt an selber Stelle ebenfalls eine Übertiefung, unterschätzt deren Maximaltiefe aber um ca. 20 m. Der See ist nicht von derart steilen Felswänden umgeben wie beispielsweise jener am Palügletscher. Trotzdem kann der See von Sturzmassen erfasst werden. Die Situation wird sich voraussichtlich verschärfen, da der See mit zunehmender Fläche näher an die Steilwand im Südosten rückt. Im August 2010 (Fig. 21) befand sich der Ausfluss des Sees auf seiner Westseite (VS). Im Osten war der See durch Fels, Schutt und evtl. Eis gedämmt. Sollte der jetzige Ausfluss (VS) z.B. durch Eisberge verstopfen, könnte aufgrund des geringen Freibords auf der Ostseite (TI) ein neuer Ausfluss entstehen. Dies wäre insofern problematisch, als der Ausfluss oberhalb eines grossen Hanges zu liegen käme, der aufgrund seiner Schuttbedeckung und Steilheit murgangfähig ist (Fig. 20). Ein grösserer Murgang könnte ohne Weiteres die Nufenen-Passstrasse im Bedrettotol erreichen, Gebäude und Infrastruktur in All'Acqua beschädigen sowie im Extremfall den Ticino aufstauen. Ein Murgang auf der

Westseite des Sees ist ebenfalls nicht auszuschliessen, würde jedoch aufgrund der fehlenden Infrastruktur im Gerental kaum Schaden verursachen. Die Entwicklung der Situation sollte beobachtet werden.

Der Chüebodensee ist als Ausflugsziel aufgrund geringer Bekanntheit und schwerer Zugänglichkeit nicht so attraktiv wie der Palüsee im Engadin oder gar der Triftsee im Berner Oberland. Er wirkt sich zwar durchaus positiv auf das Landschaftsbild aus, wird jedoch voraussichtlich keine Touristenmassen anziehen.

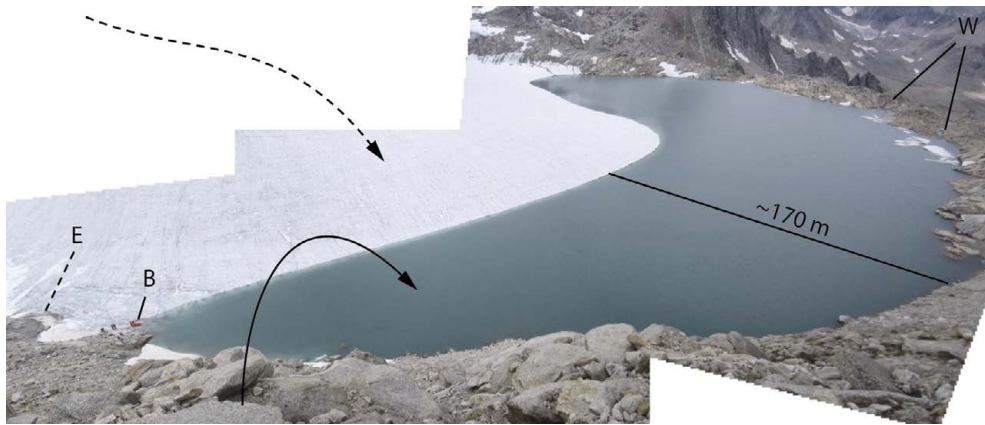


Fig. 21: Der Chüebodensee mit seinem Abfluss auf der Westseite (W) und einem möglichen künftigen Abfluss im Osten (E). Die Pfeile bezeichnen mögliche gegenwärtige (ausgezogen) und künftige (gestrichelt) Stürze in den See. Das für die Tiefenmessungen verwendete Boot ist links im Bild sichtbar (B). H. Frey, 20.8.2010.

### 7.3 Steingletscher, BE

Nach 1940 begann sich hinter den Moränen von 1920 auf (!) der Gletscherzunge der Steisee zu bilden, dessen Abfluss vorerst nach Westen in den Steinlimmibach erfolgte. 1941/1945 änderten sich die Abflussverhältnisse, indem der nördliche und von Toteis unterlagerte Moränengürtel allmählich einsank, erodiert wurde und damit den Abfluss nach Norden freigab (Blass et al., 2003). Trotz der damit verbundenen Absenkung des Seespiegels vergrösserte sich die Seefläche in den darauf folgenden Jahren sehr rasch, der Breitenzuwachs wurde auf 15 bis 20 m pro Jahr und die Absenkung des Seegrundes durch Abschmelzen von Toteis auf 1.5 m pro Jahr geschätzt. Der Zufluss des Gletscherbachs in den See erfolgte intraglacial.

1950 erhielten die Kraftwerke Oberhasli die Bewilligung, den Steinlimmibach in den Steisee zu leiten und beim Auslauf des Sees ein Abschlussbauwerk zu errichten, um eine Wassermenge von ca. 120'000 m<sup>3</sup> zu speichern und die Wasserfüh-



rung des Steinwassers tagsüber zu verbessern. Auf die Zuleitung des Steinlimmbaches wurde verzichtet. Die Bauarbeiten am Seeauslauf jedoch, die für die Niederwasserperiode im Herbst 1955 geplant gewesen waren, verzögerten sich aus verschiedenen Gründen und mussten anfangs November unbeendet eingestellt werden. Infolge der ungenügenden Dimensionierung des für den darauf folgenden Sommer vergrösserten Umleitungskanals kam es in der Nacht vom 29./30. Juli 1956 im Verlaufe eines Starkniederschlages zur Überflutung der offenen Baugrube. Ähnliche oder sogar grössere Hochwasser hatten vorher den Seeauslauf ohne schwerwiegende Folgen passiert. Durch die Überflutung der Baugrube kam es zu rascher Rückwärtserosion in den toteisdurchsetzten Moränenmassen am Seeauslauf und zu einer Absenkung des Seespiegels um 5.5 m (Haeberli, 1980). Am 23. August 1998 brach der Steisee nach starken Regenfällen erneut aus (Blass et al., 2003). Landflächen wurden bis Nessental überschwemmt und eine Brücke wurde mitgerissen.

Die Seebildung ist heute abgeschlossen. Der Gletscher hat den Kontakt mit dem See verloren (Fig. 22). Hingegen ist an der heutigen Gletscherzunge ein neuer kleiner See entstanden (Fig. 23). Ein weiterer See könnte sich in den kommenden Jahrzehnten im Bereich der flachen Gletscherpartie am Fuss des Sustenhornes bilden (Haeberli & Hohmann, 2008). Felsstürze könnten sich allenfalls aus der orografisch rechten Talseite lösen (Sustenhornflanke). Wenn sich der Gletscher weiter zurückzieht, dürfte auch die Wahrscheinlichkeit von Eisstürzen aus der Steilstufe des Gletschers steigen.

Der Steisee liegt unmittelbar an der Sustenpassstrasse und ist ein beliebtes Ausflugsziel und Fotosujet. Bei einem Ausbruch an einem warmen Sommertag sind Personenschäden nicht ausgeschlossen.



Fig. 22: Unterer Steinsee und Steingletscher. Der Pfeil zeigt auf den oberen See (vgl. Fig. 23). W. Haeberli, 2010.



Fig. 23: Oberer Steinsee (ca. 25 x 35 m) und Gletscherzunge im Hintergrund. P. Humbel, 29.6.2010.



## 7.4 Rhonegletscher, VS

Ähnlich gut erreichbar wie der Steingletscher ist der Rhonegletscher an der Furka-passstrasse. Der neue See bildete sich am Zungenende hinter einem Felsriegel und hat sich seit Juli 2010 (Fig. 25) nochmals deutlich vergrössert. Die Übertiefung im modellierten Gletscherbett hat eine längenmässige Ausdehnung von ca. 1 km. Grosse Stürze, die den See erreichen könnten, sind gegenwärtig infolge der relativ geringen Neigung der eisfrei gewordenen Talflanken wenig wahrscheinlich, können aber nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden.



Fig. 24: Palüsee am 9.8.2010. Seit 2003 (Fig. 19) hat sich der See bis zur Felswand ausgedehnt. Links sind noch Reste des Toteises sichtbar. Blickrichtung: Südwest. M. Künzler.

Fig. 25: Seebildung am Rhonegletscher. M. Künzler, 3.7.2010.

## 7.5 Aletschgletscher, VS

Im Aletschgebiet liegen die grössten modellierten Gletscherbettübertiefungen mit vereinzelt Volumen  $> 150 \text{ Mio. m}^3$ . Folglich werden sich hier voraussichtlich die grössten neuen Seen der Schweizer Alpen bilden (Fig. 26). Da diese riesigen Wasserreservoirs in unmittelbarer Reichweite von Felsstürzen aus den umliegenden steilen Felswänden oder von Eisabbrüchen aus den sich zurückziehenden Gletschern liegen werden, können sie in Zukunft ein Gefahrenpotenzial darstellen.

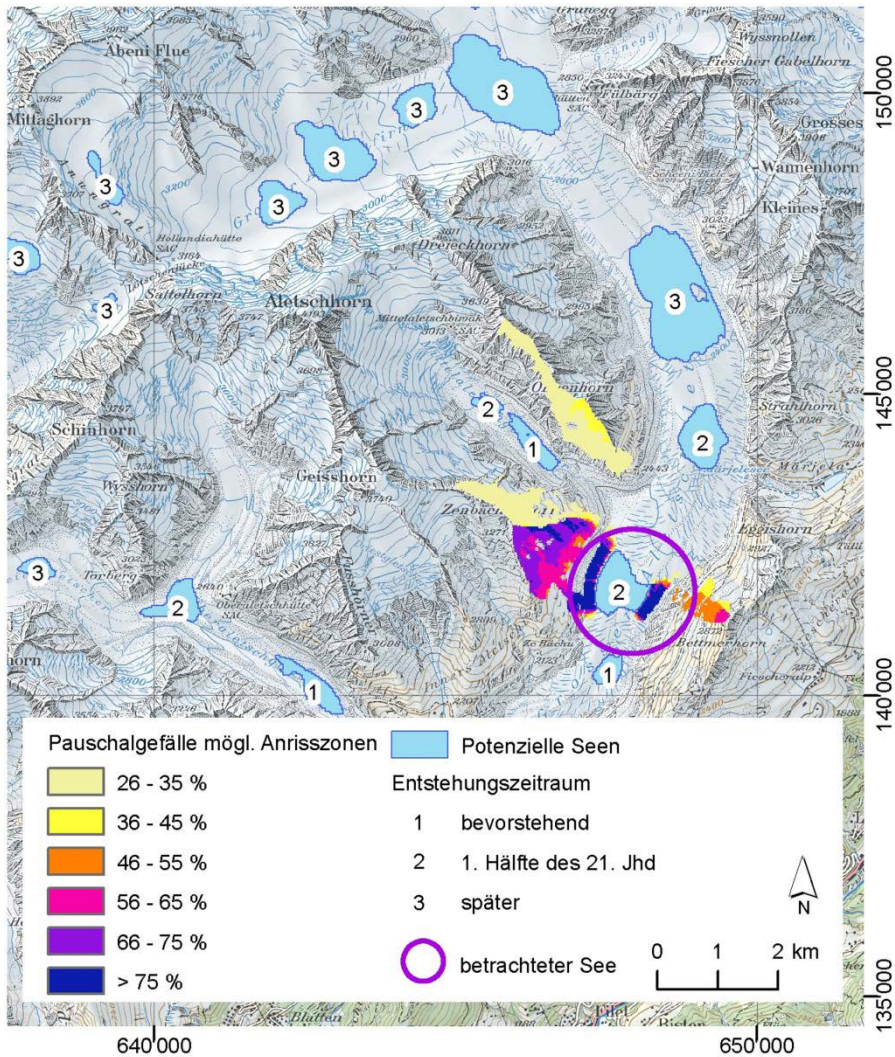


Fig. 26: Modellierte Übertiefungen des Gletscherbetts im Aletschgebiet (blau), wo sich potenziell Seen bilden können. Für den betrachteten See am Fuss des Bettmerhorn sind jene Zonen (min. Gefälle: 30°) eingezeichnet, aus denen potenzielle Felsstürze bis zum See gelangen können. Je höher das Pauschalgefälle (Verhältnis von Vertikal- zu Horizontalabstand) zwischen Anrisszone und See ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Sturz den See erreicht (vgl. Text; Daten: M. Serraino). Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA110005).

Ausbruchsszenarien aus dem ersten See (am Fuss des Bettmerhorn), mit dessen Bildung in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts zu rechnen ist, verdeutlichen die potenzielle Gefahr, die von den Seen im Aletschgebiet ausgeht (Nussbaumer, 2011). In Fig. 27 ist ersichtlich, dass sowohl im Falle eines Ausbruchs des Gesamt-

volumens von 20 Mio. m<sup>3</sup> als auch bei einem Teilausbruch (2 Mio. m<sup>3</sup>) bedeutende Teile von Naters überschwemmt werden könnten. Die erarbeiteten Szenarien der Siedlungsentwicklung von Naters zeigen, dass vor allem in den potenziell betroffenen Gebieten in den nächsten 10 Jahren mit erhöhter Bautätigkeit zu rechnen ist. Dabei handelt es sich vor allem um Wohnblöcke und Mehrfamilienhäuser, sodass im Falle eines plötzlichen Ausbruchs nebst grossem Sachschaden auch beträchtliche Personenschäden zu erwarten wären.

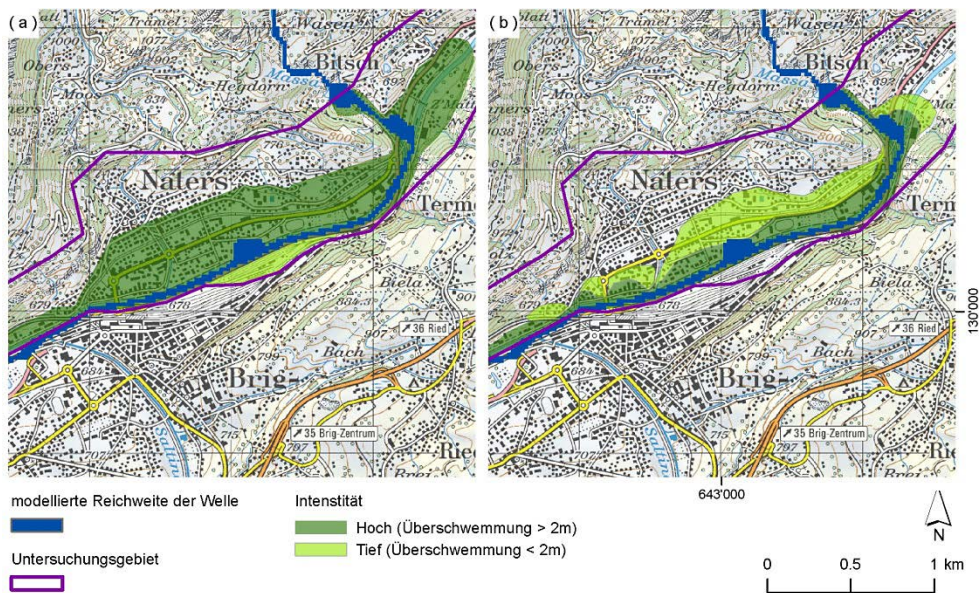


Fig. 27: Die Intensitäten einer Flutwelle aus dem Aletschgebiet in Naters. Das Szenario (a) entspricht einem Ausbruch des gesamten Seevolumens von 20 Mio. m<sup>3</sup>, das Szenario (b) einem Teilausbruch von 2 Mio. m<sup>3</sup>. Intensitäten: Nussbaumer 2011. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA110005).

## 7.6 Laguna 513, Peru

Ein besonders instruktiver Fall ist die Laguna 513 am Fuss des Nevado Hualcán, Cordillera Blanca, Peru (Fig. 29). Der über 100 m tiefe See war in den 1980er-Jahren auf/an einer schuttbedeckten Gletscherzunge unterhalb einer steilen Gletscherpartie entstanden. Die Gefahr von Eisabbrüchen in den See wurde rasch erkannt. Anfangs der 1990er-Jahre wurde der Seespiegel durch eine Serie von Tunneln in der talseitigen Felsschwelle um 20 m abgesenkt. Am 10. April 2010 stürzte eine Eis-/Felslawine von rund 200'000–300'000 m<sup>3</sup> aus der Gipfelpartie des Nevado Hualcán in den See, worauf der See zwei Mal über das 23 m hohe Freibord



schwappte und durch den entsprechenden Schwall einen Murgang auslöste. Dieser Murgang kam in der flachen Pampa de Shonquil zur Ablagerung, die derart entlasteten Wassermassen lösten aber in den talwärts folgenden Steilpartien des Rio Chucchún einen zweiten Murgang aus, der in der Stadt Carhuaz Panik auslöste und Schäden verursachte. Detaillierte Information findet sich bei Carey et al. (2012). Die entscheidenden Erkenntnisse können wie folgt zusammengefasst werden (Haerberli et al., 2010):

- Ohne Seespiegelabsenkung wäre die Flutwelle wahrscheinlich um rund eine Grössenordnung massiver ausgefallen – die Präventionsmassnahme war ein ausserordentlicher Erfolg und beschützte wahrscheinlich viele Menschenleben.
- Das entsprechende Risiko war effizient reduziert worden, jedoch nicht auf null.
- Grössere Ereignisse sind in Zukunft möglich und machen weitere Massnahmen notwendig.
- Die Anrisszone im Gipfelbereich (warmer Permafrost, grosse Hängegletscher) muss im Hinblick auf mögliche langfristige Destabilisierungsprozesse beobachtet werden.
- Das Freibord am See sollte weiter erhöht und die Möglichkeiten einer Flutwellenretention in der flachen Pampa de Shonquil sollten abgeklärt werden.
- Die Information der Sicherheitsorgane und der Bevölkerung im Tal (Alarmanlage, Fluchtwege) sollte verbessert werden.



Fig. 28: Gipfelpartie des Nevado Hualcán mit der Lawinenbahn des Ereignisses von 2010. Der Pfeil bezeichnet die Anrisszone. C. Portocarrero, 11.4.2010.



Fig. 29: Laguna 513 am Nevado Hualcán nach dem Fels-/ Eissturz. Der Eisanteil schwimmt auf der der zuvor eisfreien Seeoberfläche. C. Portocarrero, 11.4.2010.

## 8 FALLSTUDIE GRINDELWALD

---

### 8.1 Naturrisiken

#### 8.1.1 Gefahrenpotenzial

Die Veränderungen am Unteren Grindelwaldgletscher sind seit dem 18. Jahrhundert gut dokumentiert, als die Schweizer Alpen für den Tourismus zunehmend populär wurden. Im Laufe der letzten 150 Jahre hat die Zunge des Unteren Grindelwaldgletschers ungefähr 2 km an Länge verloren (Zumbühl et al., 2008). Der Dickenverlust ist besonders auch in jüngerer Zeit bemerkenswert mit zum Beispiel 60 bis über 80 m Verlust allein zwischen 1985 und 2000 (Paul & Haeberli, 2008).

In den letzten Jahren sind rund um den Zungenbereich des Unteren Grindelwaldgletschers Felsstürze, Steinschläge, Murgänge und Rutschungen aufgetreten, die mit dem starken Gletscherschwund in den letzten Jahrzehnten und wahrscheinlich auch mit den Veränderungen des Permafrosts in den höheren Lagen der Flanken zu tun haben (Fig. 30). Am spektakulärsten war der Kollaps der Felsmassen am Fuss der Eigerostflanke am Eingang der Gletscherschlucht. Prominent in den Medien war der Felssturz im Jahr 2006, als etwa 172'000 m<sup>3</sup> Fels zusammenstürzten, aber auch in den Folgejahren sind am gleichen Ort noch verschiedene Stürze aus der instabilen Masse zu beobachten gewesen (Oppikofer et al., 2008). Diese Felsstürze sind eine Folge von Entlastungserscheinungen durch den Gletscherrückgang in diesem Bereich. Die Bäregg direkt gegenüber der Felsflanke wurde im Zusammenhang mit diesen Ereignissen ein Ziel für eine grosse Zahl von schaulustigen Touristen.

Zur gleichen Zeit bildete sich auf der flachen Zunge des Gletschers ein See, der in der Folge rasch an Grösse gewann: 2007 wurde ein Volumen von 240'000 m<sup>3</sup> geschätzt, 2008 waren es 1.3 Mio. m<sup>3</sup> und 2009 bereits 2.6 Mio. m<sup>3</sup> (Werder et al., 2010). Der See wurde gestaut durch Felsschutt aus den kürzlich erfolgten Stürzen

und darunter noch vorhandenes Eis. Mit dem rasch an Volumen zunehmenden See wuchs in Grindelwald die Sorge hinsichtlich eines plötzlichen Seeausbruchs erheblich. Am Abend des 30. Mai 2008 brachen ca. 800'000 m<sup>3</sup> Wasser aus und produzierten Spitzenabflüsse von 110 m<sup>3</sup>/s ([www.gletschersee.ch](http://www.gletschersee.ch)). Der Ausfluss erfolgte im und unter dem Gletscher. Die gemessenen Abflusskurven zeigen eine Ausbruchs- und Hochwasserentwicklung über 3–4 Stunden mit mehreren plötzlichen Abflussreduktionen und darauf folgenden scharfen Spitzen (pers. Mitteilung N. Hählen, 2011). Dies legt nahe, dass sich dem subglazialen Ausbruch des mit Schutt durchsetzten Eisdammes verschiedene Stauungen mit plötzlichen Bruchmechanismen überlagert haben. Es ist deshalb in solchen Fällen wichtig einzubeziehen, dass sich auch bei subglazialen Prozessen plötzliche Bruchmechanismen mit höheren Spitzen bilden können. Bei plötzlichen (mechanischen) Bruchvorgängen grösserer Teile des Damms können bei massiv reduzierter Vorwarnzeit kurzfristig bedeutend höhere Abflussspitzen erreicht werden als etwa bei dem durch Werder et al. (2010) für Grindelwald angenommenen, weit weniger gefährlichen, hydraulischen Bruch (progressive Erweiterung subglazialer Kanäle, vgl. Haeberli, 1983; Haeberli et al., 2010).

Ähnlich wie die 2006 kollabierte Felsflanke wurde auch die grosse Stiereggmoräne schon länger stark durch den fortlaufenden Gletscherschwund destabilisiert. 2005 gab es eine grosse Moränenrutschung (ca. 700'000 m<sup>3</sup>) zu verzeichnen. Die Stieregghütte musste in diesem Zusammenhang aufgegeben werden. Gefährlich waren dann aber vor allem die weiteren Kollapse derselben Moräne, speziell jener im Jahr 2009, der eine Schwallwelle auf dem See produzierte, glücklicherweise aber keinen Seeausbruch zur Folge hatte.

Ein weiteres Problem sind die Block- und Felsstürze aus dem Gebiet des Ankenbälli im Nordosten der Gletscherzunge; diese begannen um das Jahr 2000. Die Quelle ist eine Zone im Bereich von 2'500 bis 3'000 m ü.M., die gemäss Abschätzungen und Modellierungen im warmen Permafrost liegt (BAFU, 2005; Städelin, 2008). Die Sturzmassen lagerten sich am Fuss des Ankenbälli und am oberen Ende des Murkegels oberhalb der Bäregg ab. Bei starken Niederschlagsereignissen werden die Schuttmassen durch grosse und stark erodierende Murgänge mobilisiert. Die Murgänge verursachten zwischen 2000 und 2005 eine Erosion von 700'000 m<sup>3</sup> Material auf dem Murkegel resp. in der Seitenmoräne und erreichten verschiedentlich den Gletschersee (Städelin, 2008).

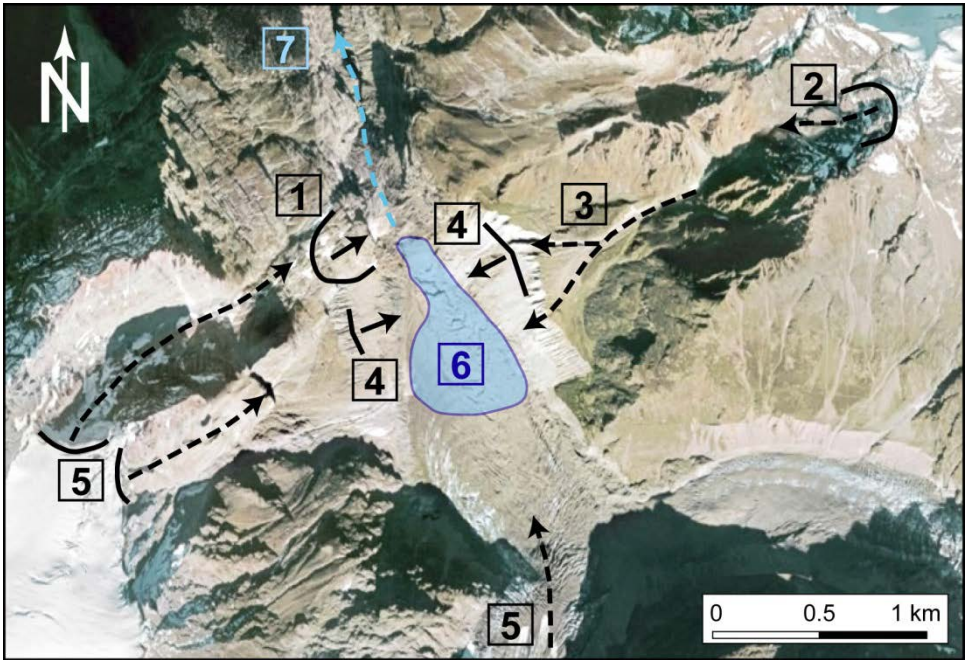


Fig. 30: Situationskarte der verschiedenen zusammenwirkenden Prozesse rund um den See am Unteren Grindelwaldgletscher. (1) Felssturz an der Schlossplatte am Eingang der Gletscherschlucht; (2) Steinschlag aus einer Zone warmen Permafrosts am Ankenbälli; (3) Murgangaktivität mit starker Erosion auf dem Murkegel/Seitenmoräne; (4) Moränenrutschungen; (5) Eislawinen vom Challifirn und zusätzlich vom Fieschergletscher (Heissi Platte); (6) Gletschersee im Zungenbereich; (7) Seeausbrüche Richtung Grindelwald (Luftbild von 1997 aus GoogleEarth).

Ebenfalls problematisch sind die relativ häufigen Eislawinen vom Hängegletscher des Challifirn (Eiger-S-Flanke). Früher stürzten die Eismassen auf die Gletscherzunge, als Folge des Gletscherrückgangs erreichen sie heute jedoch direkt den Gletscherbach in der Schlucht, wo sie zu einem temporären Rückstau mit anschliessendem plötzlichen („mechanischem“) Bruch des Eistrümmerdamms und sofort eintretenden wie auch sehr hohen Abflussspitzen führen können (Haeberli, 1983; Haeberli et al., 2010).

Für die kommenden Jahrzehnte muss die Entstehung neuer Seen in höher gelegenen Partien (auch am Fuss der Fiescherhorn-N-Wand), die Entstehung grosser Eislawinen aus den vielen steilen Gletscherpartien des Einzugsgebietes und die zunehmende Destabilisierung von bisher gefrorenen Steilflanken (v.a. etwa am grossen Fiescherhorn) in Betracht gezogen werden (Städelin, 2008). Charakteristisch an der Situation am Unteren Grindelwaldgletscher ist das Zusammenwirken einer ganzen Reihe von teils massiven Massenbewegungsprozessen in einem durch Gletscher-



schwund und wahrscheinlich auch Permafrostveränderung (Erwärmung, Auftauen) stark destabilisierten Hochgebirgsgebiet. Besonders gefährlich ist dabei die Entstehung neuer Seen im Einflussbereich von Sturz-, Lawinen-, Rutschungs- und Murgangprozessen. Obwohl die Situation nicht einfach auf andere Gebiete übertragen werden kann, kann Grindelwald dennoch als Modellfall gelten für das, was in Zukunft in einem destabilisierten Hochgebirgsraum verstärkt zu beachten ist: Zur Beurteilung steht die mittel- und langfristige Entwicklung komplexer Systeme, die sich zunehmend von dynamischen Gleichgewichten der relativ stabilen Bedingungen im Holozän entfernen und zu Situationen weit jenseits der historisch-empirischen Wissensbasis führen.

Am Beispiel Grindelwald wird im Folgenden die in der Praxis angewandte, grösstenteils auf direkten Kosten basierende Kosten-Nutzen-Berechnung von Schutzmassnahmen, durch den Einbezug der indirekten Kosten erweitert und exemplarisch ein mögliches Vorgehen vorgestellt. Besondere Aufmerksamkeit wird dabei auf die touristische Infrastruktur gelegt. Die angewandte Vorgehensweise zur Erhebung der Kosten sind in Tab. 6 dargestellt. Zudem wird ein Überblick über die gewählten Massnahmen, deren Bewertung und Kosten gegeben.

### 8.1.2 Schadenpotenzial (mit Fokus auf die touristische Infrastruktur)

Auf der Grundlage der Berechnungen durch das Tiefbaamt des Kantons Bern (Hählen 2008) wurde das in Grindelwald auf EconoMe basierte Berechnungsmodell um die indirekten (sekundäre und tertiäre) potenziellen Kosten erweitert (Tab. 6). In Grindelwald entstand nach der Bildung des Gletschersees 2005 entlang der Lütschine bis nach Interlaken eine grosse Überflutungsgefahr (vgl. auch Kap. 8.1.1). Gemäss Überflutungskarte des Kantons Bern waren folgende touristische Infrastrukturen potenziell gefährdet (in Anlehnung an Pötke 1979, vgl. Kap. 5.5):

- Bahnhof Grund
- Elektrizitätswerk Burglauenen (gehört zur Jungfraubahn)
- Campingplatz Sand (Grindelwald) und Seeblick (Bönigen)
- Talstation der Männlichenbahn inkl. Parkplatz
- Mountain Hostel
- Eisenbahnlinie der Berner Oberland-Bahnen AG (BOB) von Interlaken Ost nach Grindelwald
- Eisenbahnlinie der Wengernalpbahn (WAB) von Grindelwald Grund auf die Kleine Scheidegg inkl. Parkplatz

- Zufahrtsstrasse nach Grindelwald und diverse Strassen im Ort
- Wanderwege entlang der Lütschine



Fig. 31: Gefährdete touristische Infrastruktur in Grindelwald: Bahnhof Grund (oben links), Campingplatz Sand (oben rechts), Talstation der Männlichenbahn mit dem grossen Parkplatz (unten links) und Mountain Hostel (unten rechts). Müller/Lehmann, 21.9.2010.

Der Wanderweg zum Bergrestaurant Stieregg, dessen Untergrund (Moränenmaterial) 2005 abrutschte, musste verlegt werden. Die Wanderwege entlang der Lütschine sowie die Gletscherschlucht mussten vor dem Stollenbau mehrmals für längere Zeit geschlossen werden.

Tab. 6: Phasen eines Ereignisses und Vorgehen in dieser Arbeit zur Erhebung der zugehörigen kostenverursachenden Schäden und Massnahmen (in Anlehnung an Babs 2008; Weber 2007).

Phasen	Zeitpunkt/-dauer	Schadenpotenzial	Quelle/Erhebungsmethode	Massnahmen	Quelle/Erhebungsmethode
<b>Phase 1</b>	<i>Bedrohungslage</i> ohne Schutzbauten			<b>Vorbeugung</b> - Frühwarnung (Alarmsysteme, Einbezug Experten, Evakuierungskonzepte etc.)	Angaben von Verantwortlichen, Expertengespräche
<b>Phase 2</b>	<i>Ereignis am Tag X</i>	<b>Primäre Schäden an</b> - Gebäuden - Verkehrswegen (inkl. Brücken)  <b>Erweiterte primäre Schäden an</b> - Campingplätzen - Parkplätzen - Wanderwegen - Uferverbauungen - Leitungen (Elektrizität, Wasser) - landwirtschaftlichen Nutzflächen - forstwirtschaftlichen Nutzflächen	Hählen 2008		Eigene Berechnungen vor Ort: Angaben von Verantwortlichen, Expertengesprächen, Sekundärdaten/-literatur etc.  qualitativ in der Landschaftsbewertung integriert

<b>Phase 3a</b>	<i>während und unmittelbar nach dem Ereignis</i>	<b>Sekundäre Schäden:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Betriebsausfälle (z.B. durch Sperrung)</li> <li>- Folgekosten (z.B. steigende Versicherungsprämien)</li> </ul>	Eigene Berechnungen vor Ort: Angaben von Verantwortlichen, Expertengesprächen, Sekundärdaten/-literatur etc.	<b>Bewältigung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorsorgemaßnahmen: Bereitstellung von Personen und Material (Einsatzpläne, Sandsäcke etc.)</li> <li>- Evakuierung (vor allem Helikoptereinsätze)</li> </ul> <b>Regeneration</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Räumungs- und Instandstellungskosten               <ul style="list-style-type: none"> <li>- an Gebäuden</li> <li>- geleistete Personentage durch Zivilschutz, Armee, Freiwillige, Gemeinde, Landwirte, Gemeindeforstdienst etc.</li> </ul> </li> </ul> Geschieberäumung	Eigene Berechnungen vor Ort: Angaben von Verantwortlichen, Expertengesprächen, Sekundärdaten/-literatur etc.
<b>Phase 3b</b>	<i>nach dem Ereignis</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mittelfristige Effekte</li> </ul>	<b>Tertiäre Schäden:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Betriebsausfälle aufgrund Unsicherheit (schlechte Erreichbarkeit, mangelnde Informationen etc.)</li> <li>- Imageveränderung</li> </ul>	qualitativ (vgl. dazu Nöhner 2003, Weber 2007)		

<b>Phase 4</b>	<i>Verbesserungs- und Entwicklungsphase mit Schutzbauten</i>			<b>Prävention</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Erstellen von Schutzbauten</li> <li>- Investitionskosten</li> <li>- Betriebskosten</li> </ul>	Eigene Berechnungen vor Ort: Angaben von Verantwortlichen, Expertengesprächen, Sekundärdaten/-literatur etc.
<b>Phase 1</b>	<i>neue Bedrohungslage</i>			Folgekosten <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reparatur an Schutzbauten</li> <li>- Folgeinvestitionen</li> <li>- etc.</li> </ul>	
<b>etc.</b>					

Im Folgenden wird eine Zusammenstellung der potenziellen Sachschäden erarbeitet. Ziel ist es, zusätzlich zu den bis anhin berücksichtigten direkten Kosten auch indirekte oder sekundäre sowie tertiäre Kosten zu erfassen. Letztere sind Abschreckungskosten und fallen an, wenn nach einem Ereignis wie ein Seeausbruch Touristen der Destination fernbleiben, obwohl die Infrastruktur wieder instand gestellt ist. Auch der Imageverlust gehört zu diesen tertiären Schadenkosten.

Das Tiefbauamt des Kantons Bern (Hählen 2008) berechnete vor dem Bau des Stollens das Schadenpotenzial an Gebäuden und Schienen entlang der Lütschine bis zur Einmündung in den Brienersee mittels EconoMe bzw. BENuK<sup>2</sup>. Diese primären Schäden (vgl. auch Tab. 6) stellten den Ausgangspunkt zu vorliegenden Berechnungen dar. Sie wurden im Rahmen eines Expertenhearings<sup>3</sup> diskutiert und angepasst, um auch die indirekten Kosten zu quantifizieren. Dieses monetarisierte Schadenpotenzial setzt sich ausschliesslich aus Sachwerten zusammen. Die Vulnerabilität der exponierten Objekte und die Letalität von Personen (im Freien sowie in den Objekten) werden dabei nicht berücksichtigt.

Für die vorliegenden Berechnungen wurde das Szenario einer Überschwemmung durch Anschwellen der Lütschine aufgrund einer Entleerung des Gletschersees mit Spitzenabfluss von 200 m<sup>3</sup>/s (ohne zusätzlichen witterungsabhängigen Basisabfluss und ohne Einfluss des Geschiebes) einbezogen<sup>4</sup>. Es gilt die Annahme, dass das Ereignis während der Hochsaison im Juli stattfindet. Dabei wurde nebst der Destination Grindelwald das ganze Einzugsgebiet der Lütschine (bis Interlaken/Bödeli) berücksichtigt.

Da das Berner Oberland als Ganzes eine hoch touristische Region ist, weisen die einzelnen Wirtschaftszweige einen hohen Tourismusanteil am Umsatz auf. Die totalen Tourismusanteile am Umsatz können auch auf die durch den Tourismus erzielte Wertschöpfung und die Beschäftigung übertragen werden. (vgl. dazu: Berwert & de Bary 2005; Rütter, Müller et al. 1995). Durch diese hohen Anteile ist deshalb der Gesamtschaden für die Region immer in hohem Mass tourismusrelevant. Trotzdem wird in einigen Teilschritten die Tourismusrelevanz explizit berechnet.

---

<sup>2</sup> Beides Tools zur Kosten-Nutzen-Bewertung von Schutzmassnahmen.

<sup>3</sup> Expertenhearing vom 18.10.2011, Diskussion der Berechnungen in Grindelwald, Einfluss der Gletscherveränderungen für den Bergsport: Godi Egger (Bergführer und ehem. Besitzer des Mountain Hostels in Grindelwald), Thomas Gurtner (SAC, Bereichsleiter Umwelt), Hans Rudolf Keusen (Geologe, Geotest Zollikofen), Nils Hählen (Wasserbauingenieur, Oberingenieurkreis I Thun).

<sup>4</sup> Zum Vergleich: Hochwasser 2005 130 m<sup>3</sup>/s; Gletscherseeausbruch 2008 110 m<sup>3</sup>/s.

### *Phase 2 (Ereignis): Primäres Schadenpotenzial*

Bei einer Überschwemmung mit einem Spitzenabfluss von 200 m<sup>3</sup>/s sind zahlreiche Gebäude, Strassen und Schienen von Grindelwald bis ins Böödeli betroffen (vgl. Tab. 7). 80 % der Schäden entstehen im Raum Böödeli (Interlaken, Bönigen, Matten, Wilderswil) und 6 % in Grindelwald selber. Das Schadensverhältnis Gebäude–Schiene beträgt 71 zu 29 % (vgl. Tab. 8).

Tab. 7: Anzahl/Länge der exponierten Objekte (Hählen 2008, S. 4).

<b>Gebäude (Stk.)</b>	<b>Total</b>
Garage	140
Gewerbe	62
Hotel	20
Restaurant	14
öffentliche Gebäude	5
Schule	17
Schuppen	169
Stall	91
Wohnhaus	859
übrige Gebäude	210
<b>Strassen (m)</b>	
Kantons- und Gemeindestrassen	31'124
Quartierstrassen	14'326
Autobahn	4'810
<b>Eisenbahn (m)</b>	
Industriegeleise	1'133
Schmalspurbahn eingleisig	3'919
Schmalspurbahn mehrgleisig	468

Tab. 8: Primäres Schadenpotenzial im Falle eines Gletscherseeausbruch Grindelwald mit einem Spitzenabfluss von 200 m/s (in Mio. CHF) (Hählen 2008, S. 4).

Gemeinde	Gebäude (in Mio. CHF)	Verkehrswege (in Mio. CHF)	Total	Anteil
Grindelwald	3.1	2.5	5.6	6 %
Interlaken	12.3	4.3	16.6	18 %
Bönigen	27.6	3.0	30.6	33 %
Matten	5.6	2.5	8.1	9 %
Wilderswil	13.0	7.3	20.3	22 %
Gsteigwiler	1.0	3.1	4.1	4 %
Gündlischwand	2.4	1.2	3.6	4 %
Lütschental	0.7	2.3	3.0	3 %
<b>TOTAL</b>	<b>65.7</b>	<b>26.2</b>	<b>91.9</b>	<b>100 %</b>
<b>Anteil</b>	<b>71 %</b>	<b>29 %</b>		

---

*Primäres Schadenpotenzial für die Region: CHF 65.7 Mio. an Gebäuden und CHF 26.2 Mio. an Strasse und Schiene  $\approx$  TOTAL CHF 92 Mio.*

---

In Grindelwald verteilt sich das Schadenpotenzial in der Höhe von CHF 3.1 Mio. an Gebäuden vor allem auf das Mountain Hostel, den Bahnhof Grund (inkl. Restaurant) sowie die Talstation der Männlichenbahn. Zudem sind aus Tourismus-sicht die Zufahrt nach Grindelwald per Schiene und Strasse von zentraler Bedeutung. Ebenfalls zerstört wären Teile der Eisenbahnlinie auf die Kleine Scheidegg. Weitere primäre Schäden an anderen (touristischen) Einrichtungen wie Campingplätze, Wanderwege, Parkplätze etc. blieben bei Hählen (2008) unberücksichtigt, da diese summenmässig gegenüber den Gebäudeschäden relativ gering ausfallen. Ebenfalls unberücksichtigt blieben Schäden an Ufer, Leitungen sowie an land- und forstwirtschaftlichen Nutzflächen. Letztere werden bei den tertiären Kosten in diesem Kapitel qualitativ eingeschätzt. In Tab. 9 wurden Kostenschätzungen der Parkplätze der Männlichenbahn und beim Bahnhof Grund inkl. Schäden an Autos und Cars durchgeführt. Weiter wurden auch die beiden betroffenen Campingplätze „Sand“ in Grindelwald und „Seeblick“ in Bönigen einbezogen. Die Angaben zu den Kosten pro Einheit bzw. Gesamteinschätzungen basieren auf EconoMe (2011), Expertengesprächen und Sekundärdaten:



Tab. 9: Schätzungen des erweiterten primären Schadenpotenzials im Falle eines Seeausbruchs.

Schadenpotenzial	Kosteneinheit (CHF)	Total (CHF)
Parkplätze Männlichenbahn und Bahnhof Grund (Juli: 200 Autos; 5 Cars)	pro Stk.: 3'000 Car: 300'000 Auto: 20'000 <sup>5</sup>	6'000 1'500'000 4'000'000
Campingplätze Sand und Seeblick (Juli: Vollbelegung 66 Residenzplätze, 108 Tourismusplätze) <sup>6</sup>	pro Stk.: 50'000 Wohnwagen: 30'000 Zelt: 1'000	100'000 1'980'000 100'000
Wanderwege entlang der Lütschine	pro m: 200	2'000'000
Schäden an Uferverbauungen von mehreren km <sup>7</sup>		2'500'000
Ver- und Entsorgung (Wasser, Elektrizität, Telekom- munikation) <sup>6</sup>		1'500'000
<b>TOTAL</b>		<b>≈ 13'700'000</b>

Mit dem erweiterten primären Schadenpotenzial kommt nochmals eine beträchtliche Summe zusammen.

---

*Primäres Schadenpotenzial für die Region: CHF 92 Mio. + erweitertes primäres Schadenpotenzial: CHF 13.7 Mio. ≈ TOTAL rund CHF 100 Mio.*

---

In einem weiteren Schritt kann nun der Tourismusanteil am Schadenpotenzial geschätzt werden. Die Schäden an den Gebäuden in Grindelwald betreffen in hohem Mass touristische Gebäude (vgl. oben). Ebenfalls kann den Verkehrswegen hohe Tourismusrelevanz attestiert werden. Auf der Grundlage von Berwert & de Bary (2005) werden für Grindelwald 88 % der primären Schadenskosten als tourismusrelevant angesehen. Für die Region Bördeli wird ein Anteil von 54 % geschätzt<sup>8</sup>. Aus den tourismusrelevanten primären potenziellen Schäden (Tab. 11) wird deutlich, dass mindestens vier Fünftel des primären Schadenpotenzials direkt oder indirekt mit dem Tourismus verbunden sind:

---

<sup>5</sup> Vgl. dazu EconoMe 2011, S. 3: Garage (Parkeinheit inkl. Fahrhabe) = CHF 60'000. Hier ein Drittel des Betrags angenommen.

<sup>6</sup> Preise und Angaben unter <http://www.campingboenigen.com>.

<sup>7</sup> Schätzungen im Expertenhearing vom 18.10.2011.

<sup>8</sup> Mittelwert aus Eisenbahn 90 % touristischer Anteil (59 % Interlaken), Spezialbahnen 96 % (96 %), Personenstrassenverkehr 92 % (60 %), Hotels 89 % (76 %), Gaststätten 70 % (30 %).

Tab. 10: Tourismusanteil des primären Schadenpotenzials in Grindelwald und im Raum Bödeli.

<b>Tourismusanteil des primären Schadenpotenzials</b>	<b>Verteilung des Schadenpotenzials (Hählen 2008, S. 4f)</b>	<b>Total (CHF)</b>
Destination Grindelwald	80 %, davon 88 % Tourismusanteil	70'400'000
Region Bödeli	20 %, davon 54 % Tourismusanteil	10'800'000
<b>TOTAL</b>		<b>81'200'000</b>

### *Phase 3a: Sekundäres Schadenpotenzial*

Gemäss Sicherheitsinstitut (2006, S. 21) übersteigen bei einem Hochwasser Sekundärschäden wie beispielsweise Betriebsunterbrüche häufig die primären Schäden. In Regionen mit einem hohen Tourismusanteil lässt sich zudem *„der Schluss ziehen, dass die indirekten Kosten der Tourismusbranche im Alpenraum nach einem katastrophalen Naturereignis in den meisten Fällen nahezu identisch sind mit den gesamten indirekten Kosten dieses Ereignisses“* (Nöthiger 2003, S. 113). In einer Top-down-Einschätzung der Betriebsausfälle wird deshalb vom touristischen Umsatz pro Tag ausgegangen.

#### **Betriebsausfälle:**

Zunächst werden Betriebsausfälle geschätzt. Meist ist das Abschliessen einer Versicherung für Betriebsunterbrüche für einzelne Unternehmen zu teuer, sodass darauf verzichtet wird. Somit tragen die Betriebe das volle Risiko. In dieser Fallstudie wird deshalb als Teil der sekundären Schäden ein Betriebsausfall mit folgenden Komponenten angenommen<sup>9</sup>:

- 14 Tage kompletter Strassenunterbruch nach Grindelwald im Juli (Hochsaison)
- gleichzeitig 14 Tage Unterbruch der Bahnlinie nach Grindelwald Dorf
- 14 Tage starke Beeinträchtigung des Strassennetzes im Raum Interlaken–Bödeli, reduzierter Betrieb in Industrie und Dienstleistung

Auf die Bezifferung von Schadensminderungen wie Strom- und Wassereinsparungen durch Betriebsausfälle etc. wird verzichtet, da Berechnungen sehr vom Ereignis abhängig und unsicher sind. Die Betriebsausfälle werden in Grindelwald und in der übrigen Region differenziert betrachtet. In Grindelwald wird von einem jährli-

---

<sup>9</sup> Grundlage Hochwasser Engelberg 2005 (Weber 2007) sowie Expertenhearing vom 18.10.2011.

chen touristischen Umsatz von CHF 350 Mio.<sup>10</sup> ausgegangen. Interlaken generiert wie Grindelwald rund 1 Mio. Logiernächte jährlich. Im Sommer dürfte der Anteil an Tagesgästen etwas höher sein als in Grindelwald. Dies gleicht sich im Winterhalbjahr wieder aus. Deshalb wird auch in Interlaken von CHF 350 Mio. Umsatz ausgegangen. Es wird aber eine höhere Zahl an Hochsaisontagen angenommen, sodass der Umsatz pro Tag kleiner ist als in Grindelwald. Die Einschätzungen erfolgen topdown. (vgl. Tab. 11)

Tab. 11: Top-down-Berechnung: Potenziell verursachte Kosten durch Betriebsausfälle.

<b>Top-down-Berechnung: Pot. sekundäre Kosten</b>	<b>Annahmen/Einheiten</b>	<b>Total (CHF)</b>
Betriebsausfälle Destination Grindelwald	350 Mio. CHF jährlicher Umsatz <sup>11</sup> durch Tourismus und 250 Tage Hochsaison $\Rightarrow$ 1'400'000 CHF/Tag	19'600'000
Betriebsausfälle Region Bördeli	350 Mio. CHF jährlicher Umsatz durch Tourismus und 300 Tage Hochsaison $\Rightarrow$ 1'170'000 CHF/Tag	16'330'000

Die Annahme eines 14-tägigen Unterbruchs nach Grindelwald muss für einzelne Betriebe gemäss Hählen (2008) noch erweitert werden. So kann angenommen werden, dass der Bahnhof Grund und das umliegende Schienentrassee vollständig zerstört wären. Unter Umständen müsste mit einem bis zu dreimonatigen kompletten Betriebsunterbruch gerechnet werden.

#### Beispiel Mountain Hostel Grindelwald:

Das Hotel erlitt nach den Überschwemmungen im August 2005 (110 m<sup>3</sup>/s) einen kompletten Betriebsausfall von 3 Monaten in der Höhe von CHF 210'000.

Im Folgenden wird anhand einiger touristischer Betriebe in Grindelwald noch eine Bottom-up-Berechnung aus betrieblicher Sicht aufgezeigt (vgl. Tab. 12). Die Angaben zu Betriebszahlen und Preisen wurden aus Sekundärdaten (u.a. Geschäftsberichte) entnommen sowie durch Telefoninterviews erfragt.

<sup>10</sup> Berechnungen Wiesmann 2005/06 mittels regionalem Input-Output-Modell: CHF 320 Mio. Bruttowertschöpfung.

<sup>11</sup> Direkt (Gesamtnachfrage der Touristen) und indirekt (über Vorleistungen, Investitionen und Einkommenseffekte).

Tab. 12: Bottom-up-Berechnung von Betriebsausfällen einzelner Tourismusbetriebe in Grindelwald.

<b>Bottom-up-Berechnung: Einzelne Betriebsausfälle</b>	<b>Annahmen/Einheiten</b>	<b>Total (CHF)</b>
Mountain Hostel	analog Hochwasser 2005 (3 Mt. kompletter Betriebsunterbruch)	210'000
Männlichenbahn	Einnahmen pro Person Sommer: CHF 10.40 Anzahl Personen Juli 2009 Grindelwaldseite: 47'400	222'600
Berghaus Männlichen <sup>12</sup>	Durchschnittliche Ausgaben Übernachtungsgast: CHF 104 Durchschnittliche Ausgaben Tagesgast: CHF 20 Anzahl Übernachtungsgäste Juli 2011: 238	33'600
Berner Oberland-Bahnen	Anzahl Passagiere Interlaken Ost–Grindelwald (5-Jahresdurchschnitt): 64'736 Durchschnittspreis: CHF 20.80	608'100
Wengernalpbahn	14 Tage kompletter Unterbruch, 3 Monate kompletter Betriebsunterbruch <sup>13</sup> Anzahl Passagiere Grindelwald-Kleine Scheidegg (5-Jahresdurchschnitt): 67'167 Durchschnittspreis: CHF 43.20	7'260'000
Sperrung Gletscher- schlucht	Einnahmen pro Saison (Mai-Okt.): CHF 250'000 Betriebsausfall: 120 Tage	166'000
<b>TOTAL</b>		<b>8'500'300</b>

Die rund CHF 8.5 Mio. stellen knapp einen Viertel des topdown berechneten Umsatzausfalls in Grindelwald dar. Möglicherweise überschätzt die Topdown-Berechnung die potenziellen Schäden, da beispielsweise eingeschlossene Touristen weiteren Umsatz vor Ort generieren. In der Bottomup-Berechnung sind zudem nur diejenigen touristischen Betriebe einbezogen, welche durch die Überschwemmung direkt betroffen wären. Das Sportzentrum Grindelwald beispielsweise wäre nicht direkt vom Hochwasser betroffen, wohl aber würden beträchtliche Einnahmeausfälle entstehen. Da in den CHF 350 Mio. auch indirekte Umsätze eingeschlossen sind, wird berücksichtigt, dass eine Mehrheit der Angestellten im Tourismusgebiet einen Teil des Einkommens ausgibt (Einkommenseffekt), dass Investitionen im Zusammenhang mit dem Tourismus getätigt sowie Vorleistungen erstellt werden. Indirekte Umsatzausfälle, also Vorleistungen, die bei anderen regionalen (vorgela-

<sup>12</sup> Von Seite Wengen erreichbar, deshalb nur Hälfte des berechneten Ausfalls berücksichtigt.

<sup>13</sup> Annahme, dass auf Seite Lauterbrunnen die Kleine Scheidegg trotzdem besucht werden kann (Hälfte der üblichen Gästefrequenzen, welche normalerweise im Juli von Grindelwald her auf die Kleine Scheidegg fährt).

gerten) Betrieben anfallen würden, dürfen nicht unterschätzt werden. So beziehen etwa Hotels oder Restaurants im Berner Oberland mindestens 70 % der Vorleistungen in ihrer Region (Rütter et al. 1995, S. 177).

---

*Sekundäres Schadenpotenzial für die Region: CHF 36 Mio.*

---

Beispiel Campingplatz Seeblick in Bönigen:

Der Campingplatz wäre nach der Überschwemmung total zerstört und müsste für den Rest der Saison geschlossen werden (ca. 80 Tage). Das Ausbleiben der Gäste (108 Touristenplätze à 36 CHF/Tag) hätte einen Betriebsausfall von rund CHF 311'000 zur Folge.

*Phase 3b: Tertiäres Schadenpotenzial*

Im Fallbeispiel „Hochwasser Engelberg 2005“ wurden die Ausfälle durch Ausbleiben der Touristen nach Eröffnung der Strasse und Schiene auf CHF 7 Mio. geschätzt (Weber 2007, S. 249). Dies über eine Zeitspanne von ca. sieben Wochen. Das Bild der Lücke in der Strasse ging um die Welt. Solche „Abschreckungskosten“ werden nachfolgend für Grindelwald und die Region deskriptiv eingeschätzt.

In einer Untersuchung des Lawinenwinters 1999 geht Nöthiger (2003) davon aus, dass im Ereignismonat die Zahl der Tagestouristen sofort massiv einbricht. Die Übernachtungsgäste sind beim Ereignis teilweise bereits vor Ort. Ihre Zahl nimmt dann aber laufend ab, wobei die inländischen Gäste schneller reagieren als die ausländischen. Tourenanbieter nehmen möglicherweise die Destination vorübergehend aus ihrem Angebot. Kurzfristig (im Folgemonat), wenn sich die Gefahrensituation entschärft, erreichen die Übernachtungszahlen aber erst ihren Tiefpunkt. Der Binnentourismus (Übernachtungen) reagiert schneller, wenn das Ereignis vorüber ist, sodass die Buchungen steigen. Die Unsicherheit bei den ausländischen Gästen hält etwas länger an und die Buchungen erfolgen zögerlicher. Die Tagesgäste können nach Öffnung der Verkehrswege rasch wieder zunehmen („Gaffertourismus“).

Wie das Beispiel Engelberg zeigt, kann die Imageveränderung kaum ausschliesslich als Verlust angesehen werden. Obwohl die Medien aufgrund des hohen Nachrichtenwerts bei Katastrophen die Sachlage meist dramatischer darstellen, steht die Destination kurzfristig im Zentrum des Interesses. Längerfristig ist es wahrscheinlich, dass die Destination in Erinnerung bleibt, das Ereignis aber vergessen geht (vgl. dazu Weber 2007, S. 249f). Die Touristenströme werden sich normalisieren, d.h., es sind keine Kompensationseffekte zu erwarten.

Wie der Fall Engelberg zeigt, sind Kommunikations- und Werbeanstrengungen im Anschluss an das Ereignis wichtig:

- Solidaritätsangebot verschiedener touristischer Leistungsträger
- kostenlose Stornierungen
- Werbespots
- etc.

Allerdings kann das Ereignis „Seeausbruch“ möglicherweise nicht mit einem „gewöhnlichen“ Hochwasser verglichen werden, falls sich das Ereignis ohne Anpassungsmassnahmen in regelmässigen Abständen wiederholen könnte. Durch solche Folgeereignisse würde die Unsicherheit wachsen und das Image würde sich nachhaltig negativ einprägen. Allein die Wahrnehmung einer Häufung könnte zu einer Sensibilisierung führen, die sich negativ auf den Tourismus auswirken würde. Die (Medien- und Werbe-)Präsenz ist demnach insbesondere auch bei der Planung und Implementierung von Anpassungsmassnahmen wichtig und trägt zu einem positiven Image bei.

Tab. 13: Tertiäre Schäden: Mögliche kurz- und mittelfristige Frequenzveränderungen.

	Unsicherheit der Touristen		Imageveränderung	
	kurzfristig (Folgemonat)	kurzfristig (2. Mt. nach Ereignis)	mittelfristig (nach einem Jahr) <b>ohne Anpassung</b>	mittelfristig (nach einem Jahr) <b>mit Anpassung</b>
Tagestourismus	↗	↗	→	→
Binnentourismus (Übernachtungen)	↘	↗	↘	→
Ausländertourismus	↓	↘	↘	→

Die Kosten für tertiäre Schäden können während der Hochsaison ebenfalls in Millionenhöhe steigen. Da in Grindelwald 2.5-mal mehr Ausländer als Inländer übernachten, könnte der kurzfristig erwartete Rückgang des Ausländertourismus stark ins Gewicht fallen. Wie in Kap. 8.2.2 gezeigt, brachen die Übernachtungszahlen beim Hochwasser im August 2005 vor allem beim Ausländertourismus ein bzw. stiegen bei Ereignissen wie dem spektakulären Eigerabbruch im Juli 2006.

### 8.1.3 Getroffene Massnahmen zur Risikoreduktion

In diesem Kapitel wird ein Überblick über die getroffenen Massnahmen, deren Bewertung und Kosten gegeben (vgl. auch Tab. 6).

#### *Phase 1: Vorbeugung*

Vorbeugende Massnahmen können in Vorsorge und Prävention unterteilt werden, wobei das Verringern der Verletzlichkeit im Vordergrund steht. Bei den Vorsorgemassnahmen bezieht sich dies vor allem darauf, Personenschäden zu vermeiden. Die unsichere Situation einer plötzlichen Entleerung des Gletschersees führte vor dem Bau des Stollens zu hohen Kosten für Vorsorgemassnahmen. Die Erstellung eines umfangreichen Warndispositivs verschlang sowohl bei öffentlichen wie auch bei privaten Akteuren viel Geld. Aus kantonaler Sicht betrugen die Kosten für die technische Überwachung inkl. Warn- und Alarmdispositive sowie Gutachten von Experten etc. rund CHF 350'000 pro Jahr für die ganze Region, wobei die meisten Kosten in Grindelwald anfielen. Dazu kamen personelle Aufwendungen für die Überwachung und die Notfallplanung in den Gemeinden, welche in Grindelwald mit schätzungsweise mehreren zehntausend Franken pro Jahr sehr hoch ausfielen. In den übrigen Gemeinden betrugen sie einige tausend Franken. Nach dem Stollenbau sind diese Kosten für alle Gemeinden im Einzugsgebiet auf total ca. CHF 100'000 gesunken.

#### Beispiel Mountain Hostel Grindelwald:

Das Hostel als privater Akteur musste beispielsweise für Schutzmassnahmen sowie ein Sicherheits- und Evakuierungsdispositiv rund CHF 60'000 investieren.

Im Rahmen dieser Berechnungen wird hier eine Bedrohungslage (vor Stollenbau) von fünf Jahren angenommen, mit einer in die Vorsorge investierten Summe von rund CHF 3 Mio. (inkl. CHF 200'000 für private Akteure).

#### *Phase 3a: Bewältigung*

Evakuierungskosten werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, da der Fokus auf der Anbieterseite liegt. Zum Vergleich kann aber das Fallbeispiel „Hochwasser Engelberg 2005“ herangezogen werden, wo die Touristen für CHF 100 ausgeflogen wurden. Insgesamt wurden in Engelberg 4'000 Passagierflüge registriert (Weber 2007).

### *Phase 3a: Regeneration*

Räumungs- und Instandstellungskosten sind bei Gebäudeschäden in der Regel in der Versicherung eingeschlossen und sind im Kanton Bern mit 10 % der Schadenssumme versichert (GVB o. J., S. 2). Als Räumungskosten werden demnach 10 % der Gebäudeschadenssumme angenommen (vgl. Tab. 14).

#### Beispiel Mountain Hostel Grindelwald:

Eine verbesserte Versicherungsleistung bezüglich Gebäudeversicherung wie GVB Top-Deckung<sup>14</sup> wurde im Hostel erst nach den Überschwemmungen im August 2005 abgeschlossen. Deshalb musste damals ein Selbstbehalt von CHF 70'000 übernommen werden.

Geleistete Personentage werden aufgrund fehlender Daten nicht berücksichtigt. Die Einsätze von Armee, Luftwaffe, Feuerwehr, Strassenunterhaltungsdienst etc. sind durch Personalkosten von Gemeinde, Kanton und Bund gedeckt (vgl. Nöthiger 2000). Richtigerweise müssten aber auch Arbeitsausfälle von Personen einbezogen werden, welche im Katastrophengebiet Einsatz leisten und daher an ihrem Arbeitsplatz ausfallen. Wegen dieser vagen Annahmen und aufgrund fehlender vergleichbarer Beispiele wird darauf verzichtet.

Gemäss Übernachtungszahlen von Grindelwald und Einschätzungen des Verhältnisses Tages-Übernachtungsgäste kann davon ausgegangen werden, dass im Juli am Tag des Seeausbruchs ca. je 5'000 Übernachtungs- bzw. Tagesgäste im Ort sind<sup>15</sup>. Diese eingeschlossenen Personen generieren in den folgenden Tagen, soweit noch möglich, tourismusinduzierten Umsatz in der Destination. Dieser kann aber kaum beziffert werden. Zudem finden diese Gäste nur noch ein beschränkt funktionierendes Angebot vor.

Bei einer Überschwemmung in der angenommenen Grösse von 200 m<sup>3</sup>/s werden riesige Geschiebemengen abgelagert, welche wesentlich dazu führen, dass die Lutschine sich neue Wege suchen muss. Am Expertentreffen<sup>16</sup> war man sich einig, dass ein Geschiebevolumen von mindestens 100'000 m<sup>3</sup> anfallen würde.

<sup>14</sup> 20% der Schadenssumme für Räumungskosten; Neuwert – keine Alters- und Unterhaltsabzüge und GVB „Plus“ = Wiederherstellungskosten baulicher Erzeugnisse.

<sup>15</sup> Überprüfung: Tagesausgaben Tagesgäste CHF 60, Übernachtungsgäste CHF 110 (inflationsbereinigt; vgl. dazu Müller & Weber 2007, S. 56); je 50 % Tages- und Übernachtungsgäste (vgl. dazu Rütter et al. 1995) ergibt ca. je 4'700 Tages- und Übernachtungsgäste.

<sup>16</sup> Expertentreffen 18.10.2011, Diskussion der Berechnungen in Grindelwald, Einfluss der Gletscherveränderungen für den Bergsport: Godi Egger (Bergführer und ehem. Besitzer des



Als unerwünschte Massnahme des Gletscherrückzugs und der Seeentleerung muss der Lütschine laufend Geschiebe entnommen werden. Allein beim Seeausbruch im Jahr 2008 waren es 600'000 m<sup>3</sup>.

Aktuell kollabiert der Damm beim Gletschersee, sodass sich der See anderweitig entleert. Das Entstehenlassen einer Auenlandschaft im Gebiet der Entleerung ist in Diskussion.

Tab. 14: Schätzungen der Räumungskosten im Falle eines Seeausbruchs.

<b>Top-down-Berechnung: Räumungskosten</b>	<b>Annahmen/Einheiten</b>	<b>Total (CHF)</b>
Geschiebekosten	25 CHF/m <sup>3</sup>	2'500'000
Räumungskosten an Gebäuden	10 % der Schadenssumme an Gebäuden	6'570'000
<b>TOTAL</b>		<b>9'070'000</b>

#### *Phase 4: Prävention – Erstellen von Schutzbauten*

Der 2 km lange, ca. CHF 15 Mio. teure unterirdische Stollen ist in Grindelwald die Hauptmassnahme zum Schutz vor einem Gletscherseeausbruch. Er soll eine Begrenzung des jeweiligen Seespiegelanstiegs in der Schmelzperiode ermöglichen. Der Bau wurde zügig realisiert und konnte den See ab Frühjahr 2010 wie geplant entwässern ([www.gletschersee.ch](http://www.gletschersee.ch)). Der Stollenbau hat sich bis anhin bewährt und es sind momentan nur kleine Anpassungsmassnahmen in Aussicht. Allerdings wird das Gebiet aufgrund seiner Dynamik auch nach dem Bau des Stollens intensiv überwacht.

Die weiteren präventiven Massnahmen wurden bereits nach dem Hochwasser 2005 implementiert:

- Objektsschutz (Auflage Kanton): wasserdichte Bauweise (ca. 1 m hoch)  
z.B. Landi Neubau an der Lütschine, EW Burglauenen
- Anpassungen sind bei der Golfplatzenerweiterung an der Lütschine in Diskussion (allerdings steht dieses Projekt zurzeit wegen Konflikten mit dem Naturschutz still)

---

Mountain Hostels in Grindelwald), Thomas Gurtner (SAC, Bereichsleiter Umwelt), Hans Rudolf Keusen (Geologe, Geotest Zollikofen), Nils Hählen (Wasserbauingenieur, Oberingenieurkreis I Thun).

- Errichtung von Schutzdämmen im Bereich EW, Mountain Hostel, Bahnhof Grund

Dies ergibt folgende Ausgaben/Investitionen:

Tab. 15: Bisher erfolgte Anpassungskosten bezüglich Hochwasser/Seeausbruch in Grindelwald.

Massnahme	Bemerkungen	Total (CHF)
Stollen	Bund und Kanton leisteten 66 % an die Erstellungskosten Kosteneinheit von 6'000 CHF/m	15'000'000
Schutzdämme entlang Lutschine	Erstellung aufgrund Hochwasser 2005	k.A.
Objektschutz	wasserdichte Bauweise	privat
Geschiebebewirtschaftung	20'000 m <sup>3</sup> /Jahr	> 1'000'000 <sup>17</sup>

Die Experten haben im Hinblick auf einen Gletscherseeausbruch die drei Anpassungsmassnahmen „Stollen“, „Warndispositiv“ und „Dämme“ nach folgenden Kriterien bewertet: Wirksamkeit, Kosteneffizienz, Sekundärnutzen, Machbarkeit und Akzeptanz (vgl. dazu Müller & Lehmann 2011). Der Stollen erhält die höchste Punktezahl (vgl. Tab. 16). Die Wirksamkeit wird beim Stollen klar am höchsten bewertet. Die Massnahme kann als Anpassung mit hoher Klimaaffinität (d.h., Massnahme wird ausschliesslich wegen Klimawandel bzw. klimatischen Veränderungen implementiert) eingestuft werden. Bei solchen Massnahmen ist der Sekundärnutzen meist minimal, da sie hauptsächlich zur Lösung *eines* Problembereichs führen. Aufgrund der aktuellen Bedrohungslage war die Akzeptanz hoch. Weiter wird ersichtlich, dass die Schutzdämme entlang der Lutschine für die grossen Wassermengen bei Seeausbruch unzureichend wären, für den Schutz einzelner Objekte bei normalem Hochwasser aber sehr effizient sind. Solche weniger einschneidende Massnahmen sind sowohl technisch wie auch finanziell gut machbar.

<sup>17</sup> Gemäss Hählen (15.08.2011) muss die Schwellenkooperation pro Jahr einige CHF 100'000 aufwenden, um der Geschiebeflut Herr zu werden.

Tab. 16: Bewertung der Anpassungsmassnahmen bezüglich des Gletscherseeausbruchs.

<b>Summe</b>	<b>Anpassung</b>	<b>Wirksamkeit</b>  (Erhöhung der Anpassungsfähigkeit an Klimawandel / Steigerung der Marktfähigkeit)	<b>Sekundärnutzen</b>  (für Wirtschaft/ andere Sektoren, evtl. auch wenn der Klimawandel nicht wie erwartet eintritt)	<b>Machbarkeit</b>  (finanzielle aber auch technische Ressourcen für die Umsetzung vorhanden)	<b>Kosten-effizienz</b>  (zur Implementierung und Erhaltung, evtl. auch wenn der Klimawandel nicht wie erwartet eintritt)	<b>Akzeptanz</b>  (hohe Akzeptanz/ tiefer Durchsetzungsgrad, niedrige politische Barrieren)
20	Stollen	5	3	4	4	4
19	Warndispositiv	3	3	5	3	5
17	Schutzdämme Lütschine	3	3	5	3	3

1 = sehr schwache Zustimmung, 5 = sehr hohe Zustimmung

Aus Nutzensicht wurde mit dem Stollen das wichtigste Ziel, die Gefahrenminimierung, vorübergehend erreicht. Wie unten beschrieben, sind mit diesem Bau auch Möglichkeiten für eine Erweiterung bei neuer Bedrohungslage mitberücksichtigt. Der Stollenbau führte zur Aufhebung der Überflutungskarte durch den Gletschersee (gemäss schriftlicher Auskunft von Nils Hählen am 11.05.2012).

### *Neue Phase 1: Folgekosten*

Es ist denkbar, dass die Seenproblematik (das Wasservolumen übersteigt 1 Mio. m<sup>3</sup>) am Unteren Grindelwaldgletscher in 5–10 Jahren erneut auf tieferem Höhenniveau akut wird. Dafür hat man beim Bau des Stollens die Möglichkeit vorgesehen, eine weitere „Schubblade“ zur Entleerung einzubauen. Denkbar wäre je nach Situation auch eine oberflächliche Lösung (Bresche). Im Übrigen ist der Stollen so konzipiert, dass er mit grossen Baumaschinen erreichbar ist. Um die laufenden Veränderungen rund um den Gletschersee zu erfassen, sind ein gezieltes Monitoring und das Erstellen von langfristigen Szenarien wichtig, um möglichst frühzeitig weitere Massnahmen wie Schutzbauten oder Frühwarnsystem planen zu können.

### 8.1.4 Fazit aus touristischer Sicht

Geht man im Raum Interlaken–Grindelwald von einem jährlichen touristischen Umsatz von rund CHF 700 Mio. aus, stellt das auf rund CHF 36 Mio. berechnete sekundäre Schadenpotenzial im Falle eines Seeausbruchs ohne Stollen gut 5 % dieses Umsatzes dar. Die auf Europa überschwappende Medienberichterstattung vor dem Stollenbau hatte auf der einen Seite kurzfristig sicherlich gewisse Werbewirkung. Auf der andern Seite wurde bezüglich „Abschreckungskosten“ in Kap. 8.1.2 gezeigt, dass die Darstellung in den Medien mit Hauptfokus „Bedrohung“ Touristen stark verunsichert und meist eine negative Imageveränderung hervorruft, die mit grossem Marketingaufwand wieder ins Positive gerückt werden muss. Damit könnte der Umsatzausfall rasch gegen 10 % ansteigen. Da fast alle Wirtschaftszweige in der Region einen hohen Tourismusanteil aufweisen, wären auch Betriebe ausserhalb der Tourismusbranche betroffen. Durch Räumungs-, Reparatur-, Renovationsarbeiten etc. wären allerdings auch (positive) Wertschöpfungseffekte zu erwarten.

Insgesamt müsste nebst den potenziell anfallenden primären Kosten noch mit rund zwei Dritteln der Schadenshöhe für sekundäre und tertiäre Kosten gerechnet werden (vgl. Fig. 32 a).

Bezüglich Massnahmen fallen Kosten für Vorbeugung vor dem Stollenbau an (rund CHF 3 Mio.), Bewältigungs- und Regenerationskosten (mindestens CHF 10 Mio.) sowie Präventionskosten durch den Stollenbau und die Dämme entlang der Lutschine (mindestens CHF 15 Mio.). Werden nun die potenziellen Schadenskosten vor dem Stollenbau in der Höhe von rund CHF 150 Mio. den implementierten Massnahmekosten (ohne Berücksichtigung allfälliger Folgekosten) von mindestens CHF 30 Mio. gegenübergestellt, konnten rund vier Fünftel des Schadenpotenzials aufgrund entsprechender Massnahmen verhindert werden (vgl. Fig. 32 b). Wie bereits erwähnt, wurden aber Faktoren wie Verletzlichkeit der Objekte oder die Letalität von Personen nicht berücksichtigt.

Um Aussagen zum Kosten-Nutzen-Faktor der Massnahmen machen zu können, muss die Risikoreduktion durch die implementierten Massnahmen quantifiziert werden. Dadurch, dass der Kanton Bern die Überflutungskarte durch den Gletschersee aufgehoben hat, ist das Risiko eines Ausbruchs und damit das Schadenpotenzial zum heutigen Zeitpunkt gegen null gesunken (gemäss schriftlicher Auskunft von Nils Hählen am 11.05.2012). Die Risikoreduktion entspricht demnach in etwa den potenziellen Schadenskosten, sodass der Kosten-Nutzen-Faktor deutlich grösser 1 ist und die Massnahmen damit als effizient eingestuft werden können.

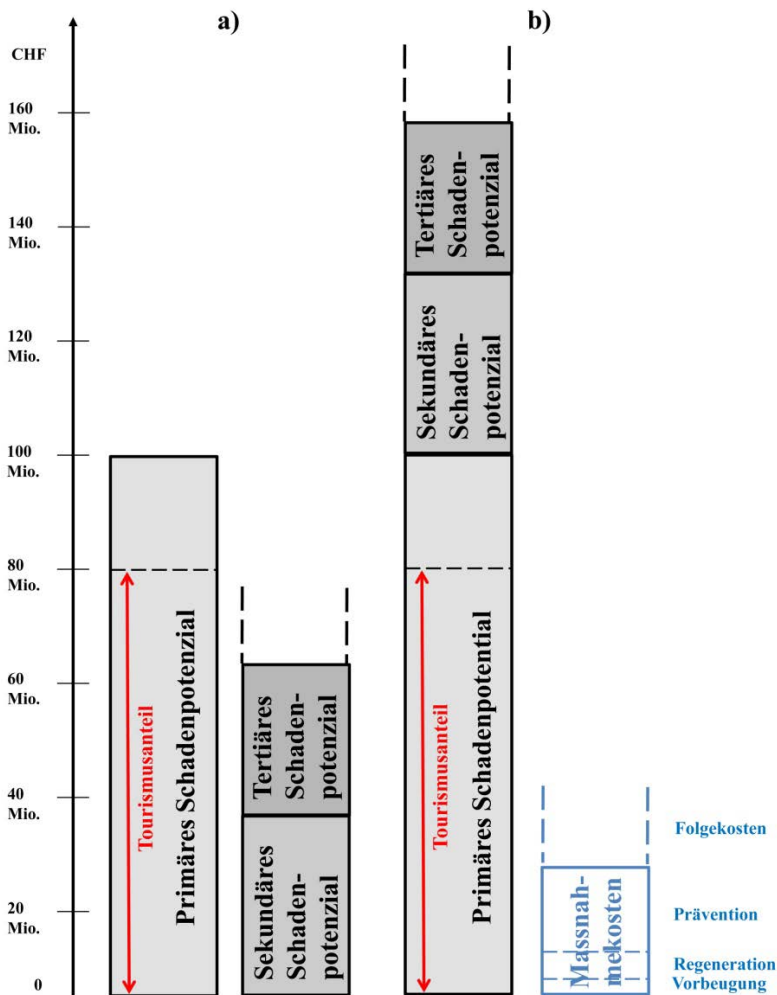


Fig. 32: a) Gegenüberstellung des direkten (primäres) und indirekten (sekundäres und tertiäres) Schadenpotenzials; b) Gegenüberstellung des gesamten Schadenpotenzials und der Massnahmekosten.

Die Destination muss sich zunehmend mit den Problemen beim Oberen Grindelwaldgletscher auseinandersetzen. So wurde im Sommer 2011 der Campingplatz gesperrt, da subglazial Stauungen entstanden, welche jederzeit brechen und Flutwellen auslösen könnten. Im Herbst des gleichen Jahres wurden 400 m lange Dämme entlang der Lütschine aufgeschüttet. Diese subglazialen Ausbrüche sind aber nicht Gegenstand dieses Projekts (vgl. Kap. 2.3). In den nächsten Jahren muss mit weiteren Anpassungskosten gerechnet werden. Insbesondere die Beseitigung der anfallenden Geschiebemengen erfordert möglichst Kosten minimierende Lösungen.

## 8.2 Touristisches Potenzial

### 8.2.1 Destination Grindelwald

Grindelwald ist mit 171 km<sup>2</sup> die flächenmässig zweitgrösste Gemeinde im Kanton Bern. Das Gebiet zieht sich von 720 m bis 4'107 m ü.M. hinauf. Der Ort selber liegt auf 1'050 m ü.M. Höhe. Das Dorf hat rund 4'000 Einwohner. Die Einwohnerzahlen sind gegenüber den 90er-Jahren rückläufig (Grindelwald, 2010).

Die Logiernächteentwicklung der letzten fünf Jahre zeigt insgesamt nach oben, wobei dies insbesondere auf die Ferienwohnungen und Ferienheime zurückzuführen ist (vgl. Tab. 17). Die 48 Hotels und Pensionen haben 3'200 verfügbare Betten und generierten von Januar bis August 2010 knapp 395'000 Logiernächte. Ein Viertel der Hotelgäste stammt aus der Schweiz und 16 % aus Deutschland. Weitere 15 % sind japanische Besucher bzw. Touristen aus Grossbritannien (BFS 2010). Grindelwald verfügt nebst 1'600 Erstwohnungen über rund 2'150 Zweitwohnungen, was einen Zweitwohnungsanteil von 57 % ergibt (Grindelwald Tourismus 2008).

Tab. 17: Logiernächteentwicklung Grindelwald 2006 bis 2010 (Grindelwald Tourismus 2011).

	2006	2007	2008	2009	2010
Hotels	482'723	478'854	474'988	455'567	454'312
Ferienwohnungen	389'448	395'247	446'443	433'943	426'034
Camping	29'852	29'080	30'795	21'365	30'624
Ferienheime etc.	102'699	104'718	108'143	119'403	119'942
<b>Gesamttotal</b>	<b>1'004'722</b>	<b>1'007'899</b>	<b>1'060'369</b>	<b>1'030'278</b>	<b>1'030'912</b>

Mit der imposanten Bergkulisse von Eiger, Mönch und Jungfrau sowie mit den beiden Gletschern stellt die Landschaft die Hauptattraktion dar. Die Landschaftsveränderungen durch den Gletscherrückzug und den Gletschersee wirken sich vor allem auf sommerliche Outdoor-Aktivitäten aus. Die Skigebiete befinden sich nicht in unmittelbarer Gletschernähe.

### 8.2.2 Veränderung der Landschaftsattraktivität: Einfluss auf die Nachfrage

Mit einer Begehung im September 2010 sowie einem Expertengespräch mit Jörg Homberger, Gemeinderat, Ressort Hochbau und Planung, und Marc Schori, Abteilungsleiter Hochbau und Planung, konnte das touristische Potenzial des Gletschersees qualitativ bewertet werden. In der Begehung wurde die Landschaft von der neuen Bäregghütte aus (1'775 m ü.M.) beobachtet (Fig. 33). Die Beobachtung erfolgte mit einem Zeitrafferblick von 1990 bis heute.



Fig. 33: Blick von der Bäregghütte auf den Unterer Grindelwaldgletscher (links) und entstandener Gletschersee (rechts). Müller/Lehmann, 21.9.2010.

Der Gletscher hat sich stark zurückgezogen und durch die massive Schuttbedeckung ist er im unteren Teil kaum mehr als Gletscher erkennbar (Fig. 33). Heute wirkt dieser Anblick in der Tendenz bedrückender als 1990 (Fig. 34). Das von Zeit zu Zeit auftretende Grollen durch Gletscher- und Schuttbewegungen kann den Gemütszustand des Beobachters durchaus etwas erregen, es hat etwas Mystisches, Bedrohliches. Die Landschaft ist durch den Felsabsturz am Eiger und die vielen Schuttverlagerungen karger und wilder geworden (vgl. Fig. 37). Obwohl der Gletscher immer noch relativ mächtig und eindrucklich wirkt, hat die Landschaft durch die Gesteinsabbrüche und -verschiebungen an Attraktivität im Sinne von Vielfalt eingebüsst.

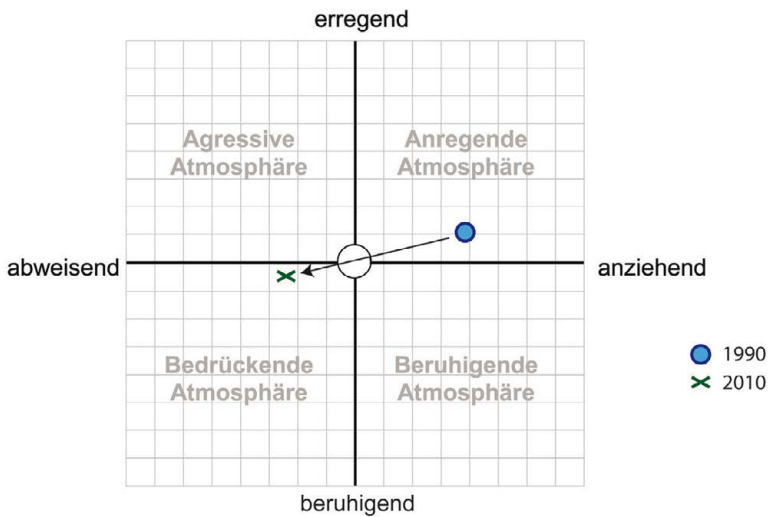


Fig. 34: Bewertung der Veränderung der Atmosphäre „Unterer Grindelwaldgletscher“.

Andererseits hat die wilde Seite der Landschaft an Eigenart zugenommen. Wenn sich die Schönheit der Landschaft über Eigenart und Vielfalt erschliesst (vgl. dazu Grünberg & Martin 2009, S. 74) und die Veränderung der letzten 20 Jahre berücksichtigt wird, hat sie vor allem durch die reduzierte Vielfalt abgenommen. Auch unter dem Aspekt der Landschaftspräferenz (vgl. Kap. 5.2) hat die Landschaft vor allem hinsichtlich des Komplexitätsgrads und der Lesbarkeit verloren.

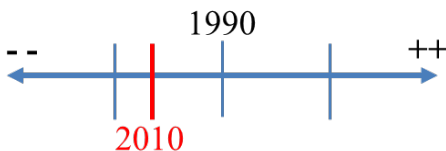


Fig. 35: Veränderung der Gesamtatmosphäre „Landschaftsbild“ von 1990 gegenüber 2010.

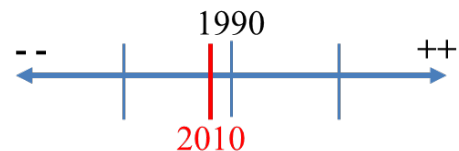


Fig. 36: Bewertung der Veränderung des Gletschers und Entstehung des Gletschersees von 1990 gegenüber 2010.

Wie bereits oben beschrieben, hat sich der Gletscher in den letzten 20 Jahren stark zurückgezogen. Heute ist er im Dorf lediglich von Weitem sichtbar. Die eisblaue Farbe hat er nur noch im obersten Teil, während die unteren zwei Drittel mit Schutt bedeckt sind. Für erstmalige Besucher wirkt der Gletscher durch seine Grösse und Höhe durchaus imposant. Wiederholungsbesucher und auch Einheimische, welche den Gletscher über Jahre kennen und beobachten, „packt beim heutigen Anblick Wehmut“ (Homberger, 21.09.2010). Dies hat sich gegenüber 1990 kaum verändert.



Eine visuell-ästhetische Bewertung der Landschaft ist in der Zeitrafferbetrachtung zwar möglich (Fig. 34), um den Wandel sichtbar zu machen, lässt sich aber nicht monetarisieren, da Subjektivität und Gewöhnungseffekte mit einfließen. Durch die Distanz und Unzugänglichkeit des Sees bestehen in Grindelwald keine Möglichkeiten zur touristischen Nutzung.

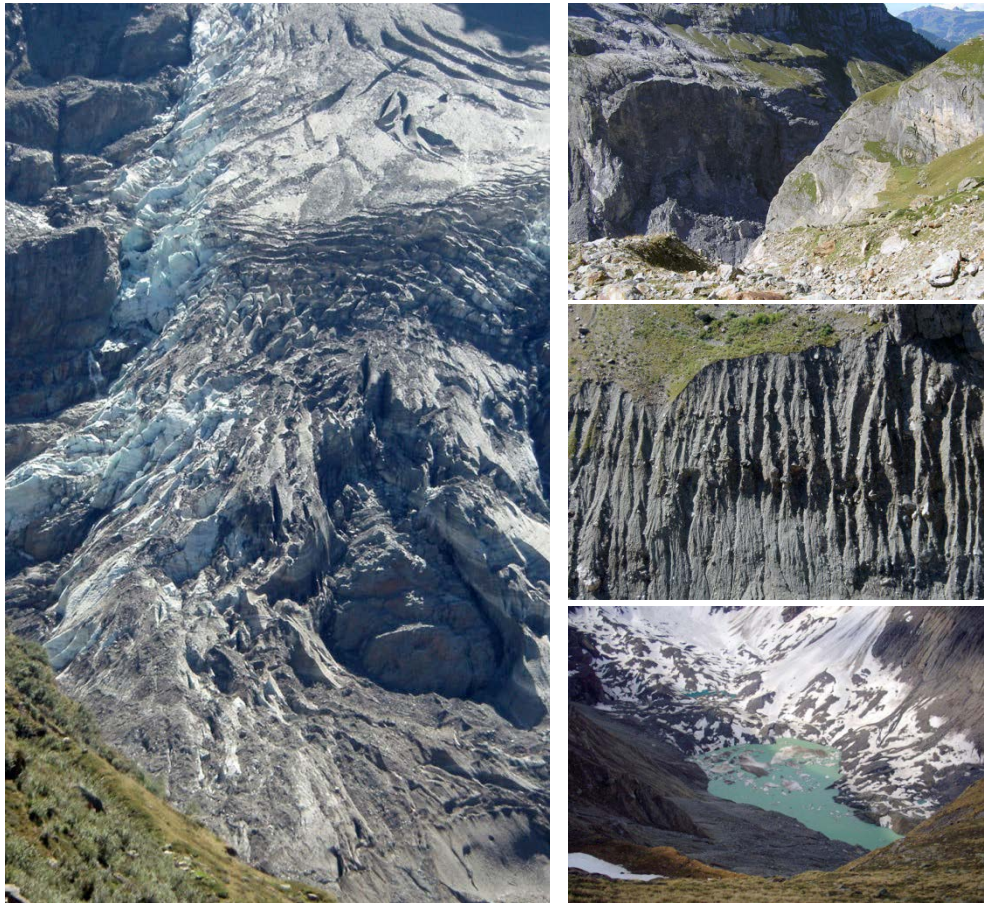


Fig. 37: Unterer Grindelwaldgletscher (links), Teil des Eigerabbruchs (oben rechts), Seitenmoräne (Mitte rechts) (Müller/Lehmann, 21.9.2010) sowie der Gletschersee am 24.04.2009 (unten rechts; Quelle: [www.gletschersee.ch](http://www.gletschersee.ch)).

Im Winter sind heute durch den Gletscherrückzug Abfahrten von Skitouren über den Gletscher nicht mehr möglich. Ist die Landschaft Identitätsstifterin und verfügt über die Eigenschaft des kulturellen Erbes (Stettler 2004), wird der Verlust für das „Gletscherdorf“ Grindelwald zunehmen. Zurzeit vermag aber der entstandene Gletschersee den Verlust etwas zu kompensieren. Da er für Besuchende nicht erreichbar

bar ist und nur aus Distanz betrachtet werden kann, wirkt er im Spätsommer klein und unscheinbar. Insbesondere im Frühsommer, wenn er fast bis hinten an den Gletscher reicht, kann er aber durchaus die landschaftliche Vielfalt erhöhen (Fig. 37, unten rechts). Mit der Inbetriebnahme des Stollens wird der See aber kaum mehr solche Dimensionen erreichen. Der Stollen bewirkt demzufolge eine Attraktionsminderung.

In Grindelwald wurde mit dem Gletschersee ein Schulungsbeispiel geschaffen, welches als „window of opportunity“ die Spuren des Klimawandels aufzeigt. Die geführten Exkursionen ins Gletschergebiet erfreuen sich zunehmender Beliebtheit. Der „klimaguide Jungfrau“ mit verschiedenen Klimapfaden im Jungfraugebiet führt Interessierte individuell mit einer iPhone-Applikation auf Wanderungen und gibt interessante Erklärungen zum Klimawandel ab. Einer der Klimapfade führt auch zum See am Unteren Grindelwaldgletscher bzw. zur Bäreghütte.

#### *Einfluss auf die touristische Nachfrage*

Die Einheimischen fühlten sich durch den Gletschersee kaum bedroht, da sie seit jeher mit Naturgefahren – allerdings nicht mit dieser – zu leben gelernt haben. Trotzdem wurde die Ungewissheit für die Gemeinde eher unangenehm, da die Thematik durch die Medien eine Eigendynamik entwickelte. In der niederländischen Presse beispielsweise ging die Berichterstattung in Richtung „Grindelwald versinkt“. Möglicherweise erfolgten kurzfristig Annullierungen bei Hotels, Carfahrten wurde abgesagt etc. Zudem musste die Autobahn auf dem Bödeli zwischenzeitlich gesperrt werden, um mobile Hochwasserschutzmassnahmen (Schläuche) u.a. über die Autobahn zu verlegen.

Trotz negativer Berichterstattung gab es während dieser Zeit durchaus sogenannten Sensations- oder Gaffertourismus. Dieser zeigt sich durch steigende Frequenzen bei den Tagesgästen. Es gab Tage, an denen beispielsweise bis zu 500 Ausflügler in das neu errichtete Berghaus Bäregg wanderten (NZZ vom 12./13.09.2009). Die Pfingsteggbahn warb mit einem Gletscherbillett. Die Frequenzzahlen der letzten Jahre zeigen, dass insbesondere der Eigerabbruch viele Schaulustige anzog. Die beiden Jahre 2008/09 lockten viele Touristen zum Gletschersee. Gemäss Auskunft des Geschäftsführers der Pfingsteggbahn sind die Zahlen in den beiden letzten Jahre wieder auf „Normalwerte“ gesunken (vgl. Tab. 18).

Tab. 18: Entwicklung der Gästefrequenzen der Pfingsteggbahn (Angaben: Zenger, Geschäftsführer Pfingsteggbahn, 23.09.2011).

<b>Jahr</b>	<b>Juli</b>	<b>August</b>	<b>Bemerkungen</b>
2005	26'349	24'234	Hochwasser am 21.08.
2006	<b>38'400</b>	29'283	<b>Eigerabbruch</b> am 13.07.
2007	29'702	29'128	
2008	<b>32'257</b>	<b>34'591</b>	<b>Gletscherseeausbruch im Mai</b>
2009	<b>31'137</b>	<b>32'649</b>	über 2 Mio. m <sup>3</sup> Seevolumen
2010	29'113	27'636	verregneter August
2011	24'514	27'090	verregneter Juli

Mit den Hotellogiernächten als Grundlage kann der Einfluss besonderer Ereignisse nachgewiesen werden (vgl. Fig. 38). So verzeichnete beispielsweise der August 2005 (Hochwasser) im Vergleich mit den letzten zehn Jahren die tiefste Logiernächtezahl. Der spektakuläre Eigerabbruch am 13. Juli 2006 lockte sowohl Tages- wie auch Übernachtungsgäste an. Gegenüber 2005 nahmen die Hotelübernachtungen um über 4'000 zu. 2007 blieben sie ähnlich hoch. Zum Zeitpunkt des Gletscherseeausbruchs im Mai 2008 wurden am meisten Hotelübernachtungen in den letzten zehn Jahren für diesen Monat registriert. Obwohl keine absolute Kausalität zwischen diesen Ereignissen und den Logiernächten angenommen werden darf, da noch andere Einflussfaktoren hineinspielen (z.B. Wirtschaftskrisen etc.), sind Tendenzen sichtbar. Die Unterscheidung nach Binnen- (Übernachtungs-) und Ausländertourismus zeigt die oben beschriebenen Effekte viel ausgeprägter bei den ausländischen Gästen. Dies erstaunt nicht, da die ausländischen Touristen schneller auf solche Ereignisse reagieren als die inländischen.

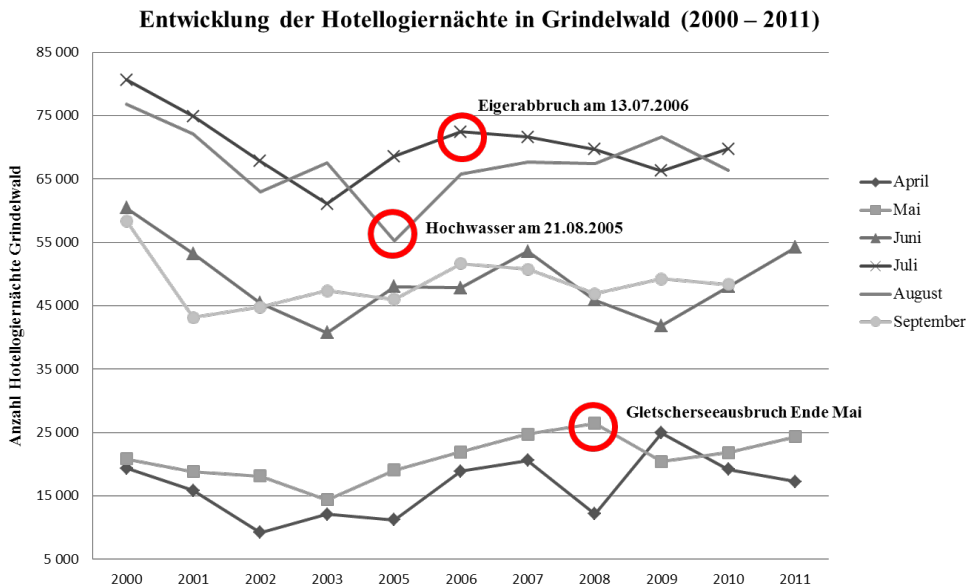


Fig. 38: Entwicklung der Hotellogiernächte in Grindelwald (2000–2011) (BFS 2011).

### 8.3 Hydroelektrisches Potenzial

Insbesondere wegen der geologischen Unsicherheiten sowie aus Landschaftsgründen ist ein künstlicher Aufstau des Gletschersees durch den Bau einer Talsperre ausgeschlossen. Denkbar wäre allenfalls, eine kleine Wassermenge mit einer flexiblen Heberleitung aus dem See zu fassen, mit einer kleinen Druckleitung im First des Stollens abzuführen und an dessen Ausgang mit einem Mikrokraftwerk zu nutzen. Mit einer Druckleitung von 15 cm Durchmesser und einer Wassermenge von etwa 120 l/s könnte beispielsweise eine kleine Pelton-turbine mit etwa 0.7 MW Leistung betrieben werden.

### 8.4 Ausgewählte rechtliche Aspekte

Der Untere und der Obere Grindelwaldgletscher

- gehören zum Hoheitsgebiet des Kantons Bern (Art. 664 Abs. 1 Zivilgesetzbuch, ZGB) und Art. 77 und 78 des Einführungsgesetzes zum ZGB des Kantons Bern.
- sind im Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (Nr. 1'507/1'706, Berner Hochalpen und Aletsch-Bietschhorn-Gebiet, nördlicher Teil) und in der Liste des UNESCO Welt-

naturerbes (World Heritage List) verzeichnet. Diese Gletschergebiete sind in besonderem Masse ungeschmälert zu erhalten bzw. grösstmöglich zu schonen (Art. 5 und 6 Natur- und Heimatschutzgesetz). Zu erwähnen ist das Auengebiet von nationaler Bedeutung, Schutzobjekt Nr. 81 In Erlen (Grindelwald) bei der Weissen Lütschine.

- bringen wegen drohenden Hochwassern (Gletscherseen und Wasserstauungen) Gefahren für die weiter unten liegenden Verkehrswege und Siedlungen mit sich ([www.gletschersee.ch](http://www.gletschersee.ch)). Die betroffenen Gemeinwesen sind auf der Grundlage des Polizeirechts und der Wasserbaugesetzgebung zur Vornahme von Schutzmassnahmen verpflichtet.
- waren bekannt für ihre Gletschergrotten. „Ab etwa 1860 waren am Unteren Grindelwaldgletscher bis zu zwei Grotten offen. Infolge Gletscherrückzugs mussten diese aufgegeben werden. Am Oberen Grindelwaldgletscher wurde während eines grossen Teils des 20. Jahrhunderts eine Eisgrotte geführt.“ (Bütler, 2006, S. 85). „Im Fall des Oberen Grindelwaldgletschers hatte der Kanton Bern der Alpgenossenschaft Bergschaft Scheidegg eine Konzession zur Führung einer Eisgrotte bis im Jahre 2000 verliehen. Die Alpgenossenschaft hatte dieses Recht an eine Privatperson weiter verpachtet.“ (Bütler, 2006, S. 89).
- wurden im Zungenbereich zwischen 1850 und 1920 für den Abbau von Eisblöcken ausgebeutet. Die Eisexportgesellschaft stützte sich auf eine gebührenpflichtige Konzession der Gemeinde Grindelwald (drei Schweizer Rappen pro Zentner Eis im Jahre 1901 und fünf Franken pro 10 Tonnen im Jahre 1920). „Beim Unteren Grindelwaldgletscher ... waren im Sommer 1876 bis zu 60 Arbeiter (Eissäger) mit dem Eisabbau beschäftigt. An Spitzentagen wurden bis zu 600 Blöcke à 75 kg aus dem Gletscher gebrochen und mit der Eisenbahn häufig weit weg geliefert (Bordeaux, Orléans, Paris, Strassburg, Wiesbaden etc.), wobei der Schwund der Eisblöcke trotz Schutz durch Sägemehl und Stroh beim Transport beträchtlich war. Am Oberen Grindelwaldgletscher wurde zwischen 1900 und 1920 viel Eis abgebaut.“ (Bütler, 2006, S. 49).

## 9 FALLSTUDIE MAUVOISIN

---

### 9.1 Potentiel hydroélectrique

L'étude de cas Mauvoisin étudie le potentiel hydroélectrique de nouveaux lacs dans le val de Bagnes. Elle se concentre sur le glacier de Corbassière qui présente le plus grand potentiel de nouveaux lacs.

#### 9.1.1 Description du bassin versant avec les aménagements existants

La zone d'étude est située autour du lac de Mauvoisin en Valais. Ce lac artificiel de  $204 \text{ hm}^3$ <sup>18</sup> a été créé par la construction d'un barrage voûte de 250 m sur la Drance de Bagnes. Il fait partie d'un aménagement hydroélectrique exploité par les *Forces Motrices de Mauvoisin (FMM)*.

Le bassin versant naturel du lac de Mauvoisin est de  $112 \text{ km}^2$  (sous-bassins 1.1, 2.1, 2.2 et 2.3 sur Fig. 39). Les deux collecteurs sur la rive gauche et droite augmentent respectivement la surface contributive de 35 et  $19 \text{ km}^2$  (traits bleu sur Fig. 39). Sur une surface totale du bassin versant de  $166 \text{ km}^2$ , 37 % sont recouverts par des glaciers. Il en découle un régime hydrologique de type glaciaire. L'apport annuel moyen dans la retenue de Mauvoisin a été d'environ  $280 \text{ hm}^3$  ces dernières années. Comme ces apports surviennent à 90 % durant l'été et que la plus forte demande d'électricité est en hiver, le lac de Mauvoisin est exploité comme retenue saisonnière.

---

<sup>18</sup>  $1 \text{ hm}^3 = 1 \text{ Mio m}^3$

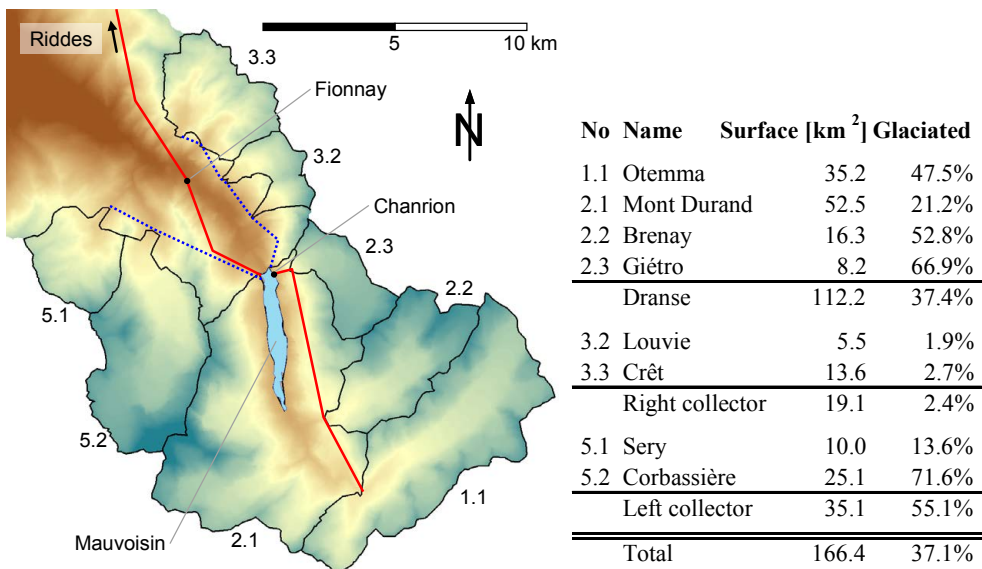


Fig. 39: bassin versant du lac de Mauvoisin.

L'exploitation de la retenue de Mauvoisin s'effectue en 2 paliers. Le palier supérieur relie le lac jusqu'à la centrale de Fionnay (138 MW) où l'eau est rejetée dans un bassin de compensation. Le second palier relie ce bassin de compensation à la centrale de Riddes (225 MW) où l'eau est restituée au Rhône. De plus, la centrale de Chanrion (28 MW) exploite une partie des apports naturels (sous-bassins 1.1, 2.2 et 2.3 sur Fig. 39) arrivant dans le lac de Mauvoisin.

L'adduction sur la rive gauche comprend le glacier de Corbassière. Ce dernier est le 5<sup>ème</sup> plus long glacier de Suisse avec une longueur de 9.8 km et une surface de 17.4 km<sup>2</sup>. Il présente un potentiel élevé de nouveaux lacs.

L'étude des dépressions recouvertes par le glacier est effectuée en soustrayant l'épaisseur du glacier estimée par Linsbauer (grille avec une maille de 25x25 m) au MNT (modèle numérique du terrain de la carte nationale 1:25'000; Linsbauer et al., 2009). La topographie sous-glaciaire est ainsi obtenue, ce qui permet de déterminer la profondeur et le volume des dépressions.

La principale dépression présente sous le glacier de Corbassière, située à 2 km en amont de la langue et recouverte par 120 m de glace, a une profondeur maximale de 200 m. Le nouveau lac qui pourra se former à cet endroit est par la suite appelé lac de Corbassière. Situé à 2'500 m s.m., le lac potentielle a une surface de 0.64 km<sup>2</sup> et un volume estimé de 51.6 hm<sup>3</sup>, soit approximativement 25 % de celui du lac de Mauvoisin.

## 9.1.2 Descriptions des projets futurs

### *Mauvoisin II*

Durant les années 1990, le projet Mauvoisin II a été étudié, mais n'a finalement pas été construit pour des raisons économiques. L'idée était de construire une nouvelle centrale de 550 MW à Riddes, reliée directement au lac de Mauvoisin par une nouvelle galerie. La capacité des FMM serait donc passée de 390 MW à 940 MW, permettant de concentrer la production sur quelques heures par jour et ainsi de mieux profiter des heures de pointe. Ce projet pourrait être intéressant dans le futur et sera considéré dans l'étude.

Les coûts de construction de l'aménagement ont été estimés à 650 Mio CHF en 1994. En tenant compte du renchérissement, cela représente 743 Mio CHF aujourd'hui ou 572 Mio EUR (avec un taux de change de 1.3 CHF/EUR). La construction de Mauvoisin II aurait augmenté le prix de revient de l'énergie de 6.0 cts/kWh à 12.6 cts/kWh.

### *Corbassière*

La proximité des lacs de Corbassière et Mauvoisin, leur volume important (respectivement 51.6 et 204 hm<sup>3</sup>) ainsi que le dénivelé qui les sépare rend intéressante la construction d'un aménagement de pompage-turbinage de grande puissance. Il permettrait de réguler le réseau électrique et de fournir de l'énergie de pointe. L'énergie produite par les énergies renouvelables telles que les éoliennes serait utilisée pour pomper l'eau aux heures creuses. Dans cette étude, un aménagement de 500 MW est considéré (Fig. 40), ce qui représente un débit de 100 m<sup>3</sup>/s en turbinage et 75 m<sup>3</sup>/s en pompage.

La construction d'une digue (à masque bitumineux ou à masque amont en béton) avec les matériaux présents à proximité est nécessaire pour avoir un contrôle en cas de crue. Le rocher de surface, altéré par les éléments, est enlevé pour avoir une fondation adéquate. Une revanche importante d'environ 10 m est nécessaire en cas de chute de séracs sur le flanc du Combin de Corbassière. Les dimensions de la digue sont de 40 m de hauteur et 500 m de longueur.

La Fig. 41 montre le profil en long de l'aménagement. Il est choisi de placer la centrale en profondeur pour que la couverture rocheuse puisse reprendre la pression de l'eau. Seuls les derniers 500 m de galerie avant la centrale (côté Corbassière) ont un blindage. Le reste des galeries est revêtu de béton. La prise d'eau dans le



lac de Mauvoisin est placée juste au-dessus du niveau minimal d'exploitation pour ne pas perturber l'exploitation pendant la construction.

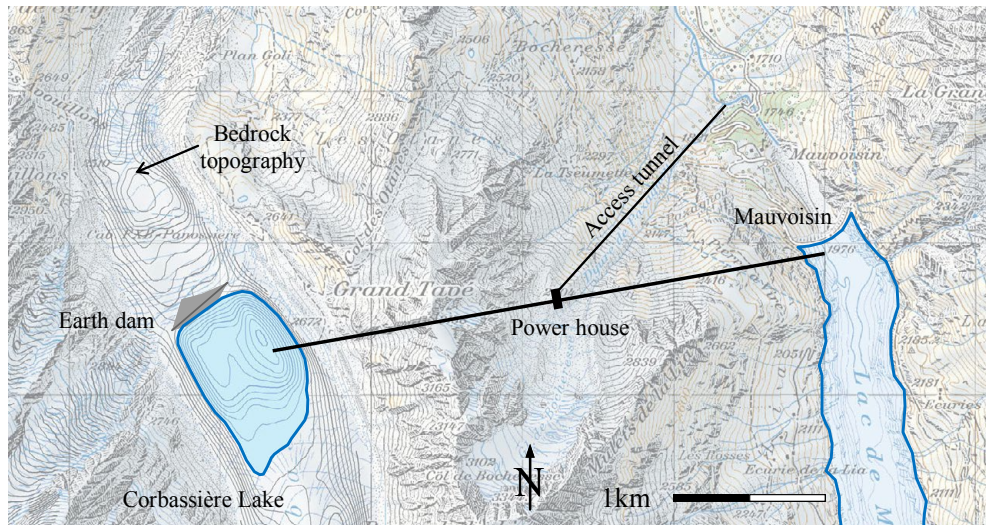


Fig. 40: Plan du nouveau lac de Corbassière de l'aménagement de pompage-turbinage. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA110005).

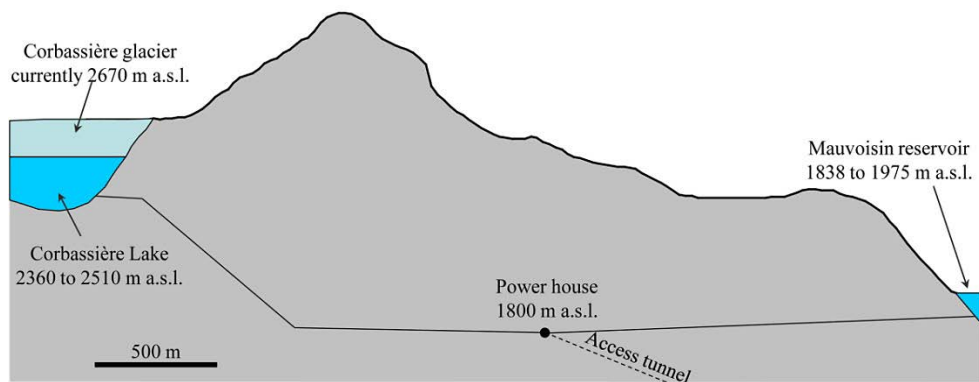


Fig. 41: Profil en long du projet de pompage-turbinage à Corbassière.

Le Tab. 19 présente l'estimation des coûts de construction de l'aménagement qui s'élèvent à un total de 498.5 Mio EUR. Le diamètre des galeries hydrauliques est optimisé en tenant compte des coûts de construction et du coût des pertes charge. Le Tab. 20 résume leurs principales caractéristiques.

Tab. 19: Coûts de construction de l'aménagement.

<b>Partie</b>	<b>Coûts [Mio EUR]</b>
Préparation et équipement du terrain	11.4
Barrage	31.4
Prise d'eau amont	7.4
Galeries hydrauliques	84.1
Accès centrale	37.0
Centrale	48.7
Pompe-turbines	72.4
Machines électriques	49.6
Prise d'eau aval	7.4
Lignes électriques	16.7
Installations de chantier	22.7
Imprévus	36.6
Frais généraux et salaires	73.2
<b>Total</b>	<b>498.5</b>

Tab. 20: Détail du coût de construction des tronçons de galerie hydraulique.

<b>Tronçon</b>	<b>Longueur m</b>	<b>Rugosité mm</b>	<b>Diamètre m</b>	<b>Coûts Mio EUR</b>
<u>Lac de Corbassière</u>				
Galerie revetue	250	4	7.00	3.75
Puits incliné	800	4	6.50	17.47
Galerie revetue	550	4	7.00	8.25
Galerie blindée ( $f_y=650$ MPa ; $e=36$ mm)	500	0.2	5.50	16.71
<u>Centrale</u>				
Galerie revetue	1'800	4	7.00	26.99
<u>Lac de Mauvoisin</u>				
<b>Total galeries hydrauliques</b>	<b>3'900</b>			<b>73.16</b>

### 9.1.3 Calibration et vérification du modèle

La Fig. 42 présente le modèle RS3.0 avec les aménagements de Mauvoisin II et Corbassière. Un détail d'un sous-bassin (Sery) est montré à la Fig. 43. Les deux premières bandes d'altitude (depuis le haut) sont entièrement non-glaciaires, les suivantes ont à la fois des surfaces glaciaires et non-glaciaires.

Le modèle est calé sur la base des mesures de débit dans le collecteur rive gauche (du 01.01.2000 au 31.12.2005) et sur les apports totaux dans la retenue de Mauvoisin (du 01.10.1987 au 31.12.2005). L'objectif du calage est d'obtenir un rapport de volume le plus proche possible de 1, tout en ayant un coefficient de Nash le plus

élevé possible. La Fig. 44 montre comme exemple le résultat de la calibration dans le collecteur rive gauche.

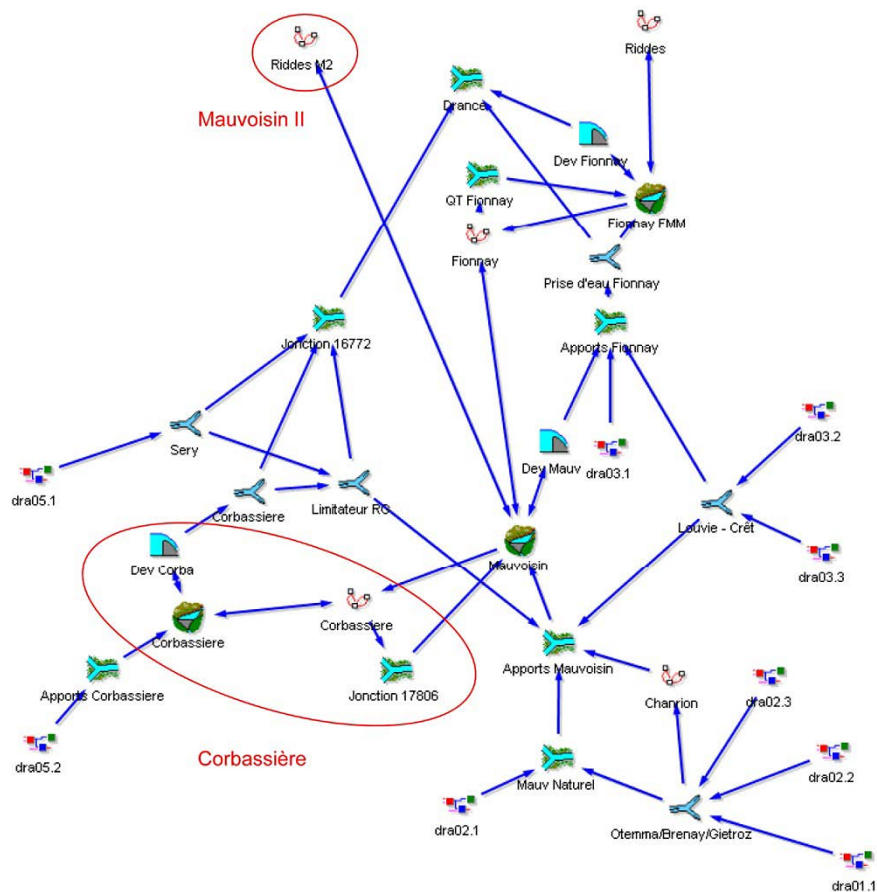


Fig. 42: Modèle RS3.0 du bassin versant des FMM avec aménagements FMM, Mauvoisin II et Corbassière.

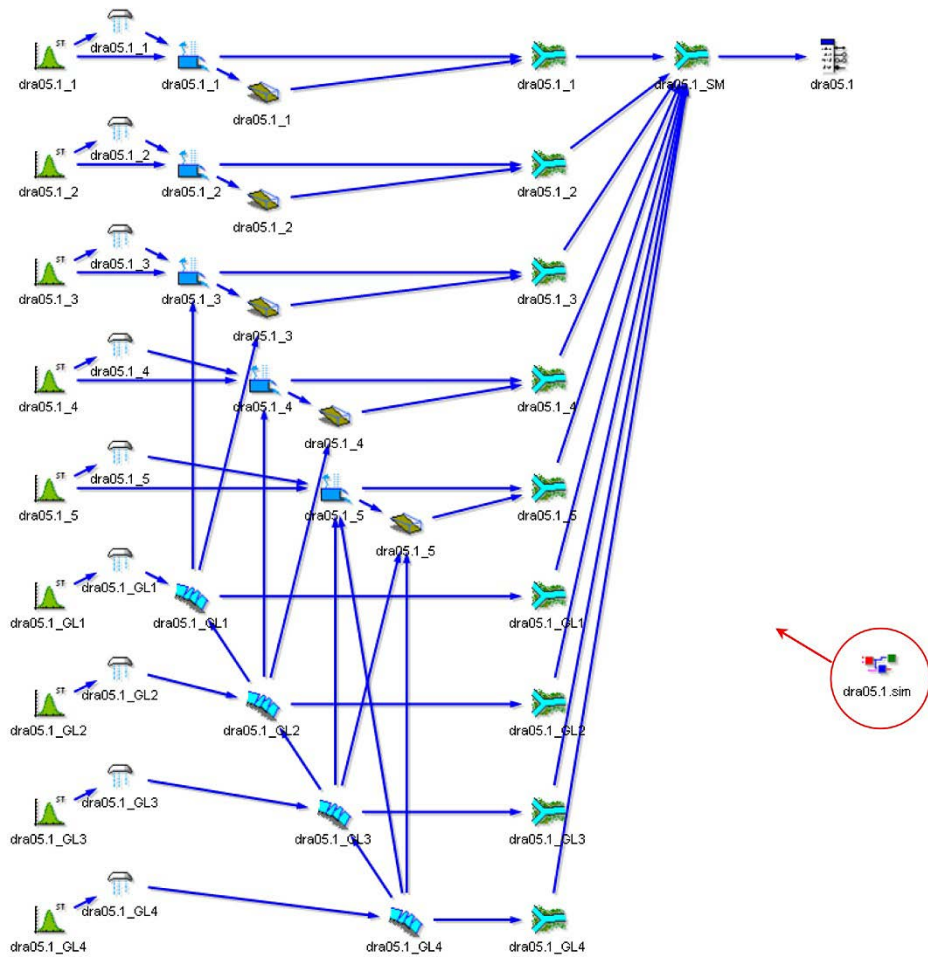


Fig. 43: Bandes d'altitudes du sous-bassin de Sery.

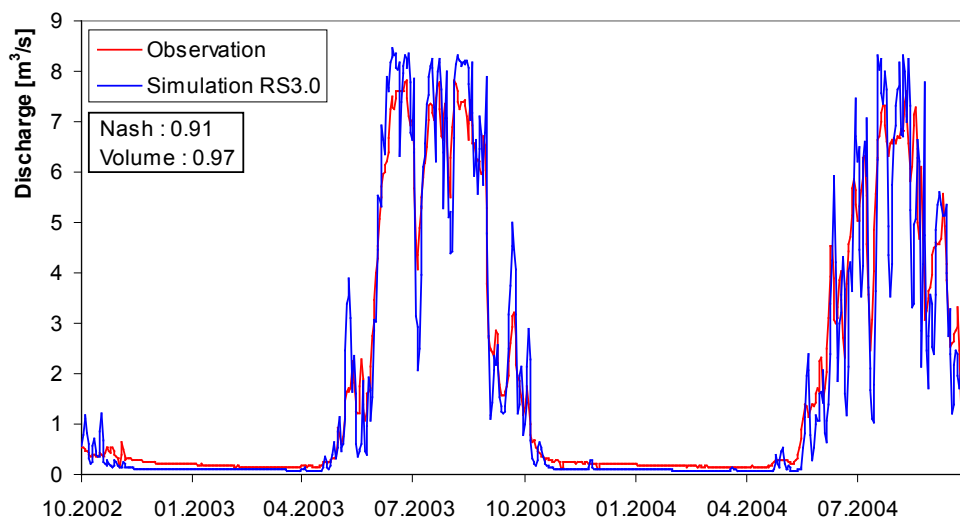


Fig. 44: Débit observé et simulé dans le collecteur rive gauche.

#### 9.1.4 Analyse des scénarios climatiques – évolution du glacier de Corbassière

Dans le modèle RS3.0, le glacier de Corbassière est divisé en 7 bandes d'altitude. La hauteur d'une bande permet de déterminer si à cet endroit le glacier fond, s'il est stable ou s'il accumule de la masse.

La Fig. 45 montre l'évolution de la hauteur des 3 bandes inférieures selon les 4 scénarios climatiques. Quel que soit le scénario, la première bande disparaît d'ici aux 40 prochaines années. La deuxième bande, qui recouvre le lac de Corbassière, fond également. Avec le scénario ETHZ, cette bande disparaît avant 2075. Le scénario  $+4^{\circ}$  atteint les mêmes températures que le scénario ETHZ en 2100, mais le réchauffement est moins rapide, ce qui explique la disparition de la bande 15 ans plus tard. Dans le scénario de référence, la bande perd 70 % de son épaisseur et va probablement disparaître vers 2150. Finalement, avec le scénario de refroidissement  $-2^{\circ}$ , la bande perd près de 50 % de sa hauteur, mais sa fonte ralentit et elle est presque stabilisée en 2100. Les différents scénarios climatiques ont une forte influence sur la troisième bande. Avec les scénarios ETHZ et  $+4^{\circ}$ , la bande disparaît entre 2100 et 2130. Le scénario de référence donne une fonte lente, alors que le refroidissement  $-2^{\circ}$  fait croître la bande sur la deuxième moitié du siècle.

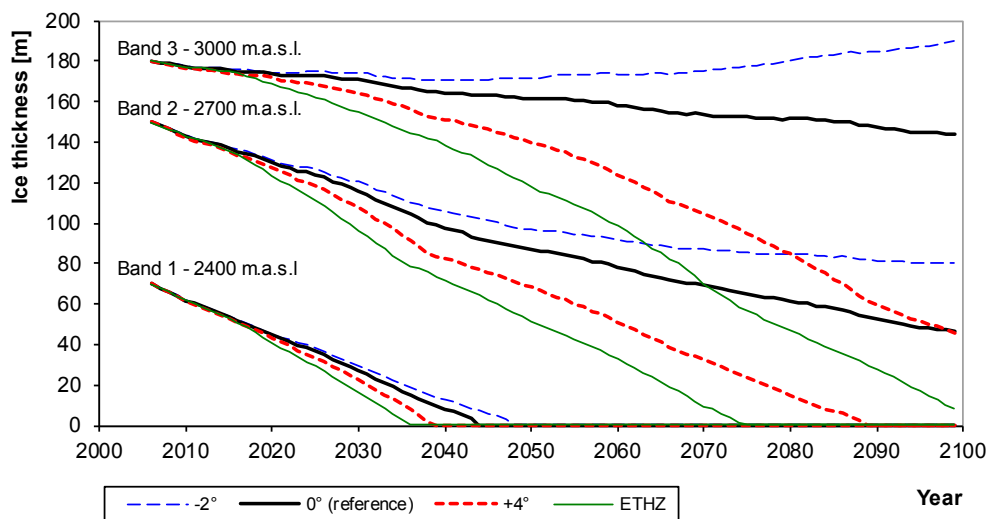


Fig. 45: Evolution des bandes inférieures du glacier de Corbassière.

La Fig. 46 montre l'évolution des bandes supérieures. Comme la bande 3, la bande 4 est fortement influencée par le scénario climatique. La bande 5 est relativement stable sur la première moitié du siècle et sa fonte s'accélère dans la deuxième moitié avec les scénarios de réchauffement. En 2100, elle a perdu 38 % de sa hauteur avec le scénario ETHZ et 20 % avec le scénario +4°. Pour le scénario de référence, la perte est seulement de 3 % en 2100. Les bandes 6 et 7 ne subissent que très peu de variations durant tout le siècle, quel que soit le scénario.

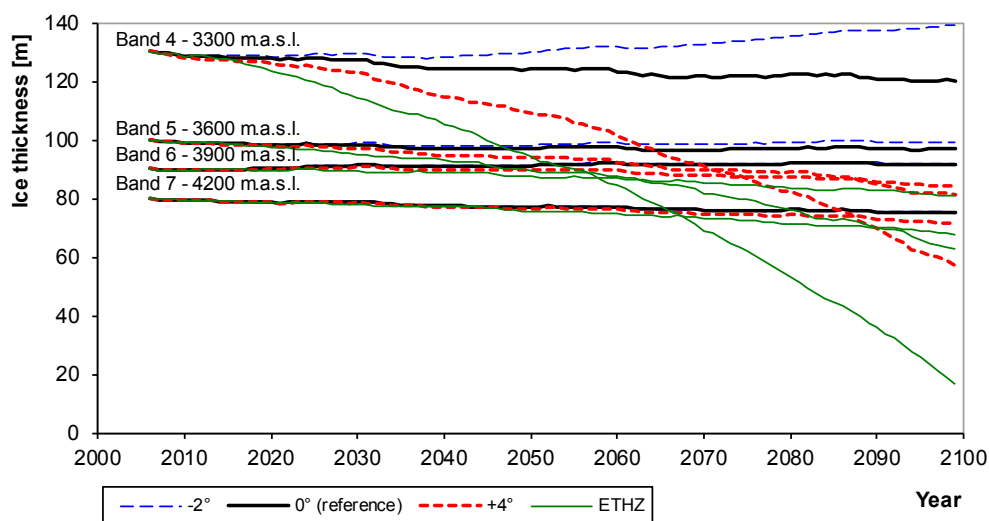


Fig. 46: Evolution des bandes supérieures du glacier de Corbassière.

Par la suite, il est considéré que le nouveau lac de Corbassière apparaît en 2075, année de la disparition de la deuxième bande selon le scénario ETHZ. Cette valeur est conservatrice puisque le lac est plutôt situé dans la partie inférieure de la bande qui se découvrira plus tôt. De plus, il faut rappeler que le modèle RS3.0 est avant tout conçu pour simuler des débits et non pour simuler l'évolution des glaciers. La date de disparition de la deuxième bande est donc entachée d'une grande incertitude.

### 9.1.5 Analyse des scénarios climatiques – prévision des débits

La Fig. 47 montre les mesures et les prévisions des apports annuels dans la retenue de Mauvoisin pour le scénario ETHZ. Dans les mesures des années 1990–2005, la tendance est à l'augmentation des apports annuels, ce qui peut s'expliquer par une hausse des températures. L'été 2003 a été le plus chaud jamais enregistré en Suisse et l'apport dans Mauvoisin a été de 339 hm<sup>3</sup> durant cette année. Les prévisions indiquent que les apports exceptionnels de 2003 pourraient se reproduire jusqu'à une dizaine de fois dans les 3 prochaines décennies. Par la suite, les apports vont diminuer et ils seront en moyenne inférieurs à 200 hm<sup>3</sup> en 2100.

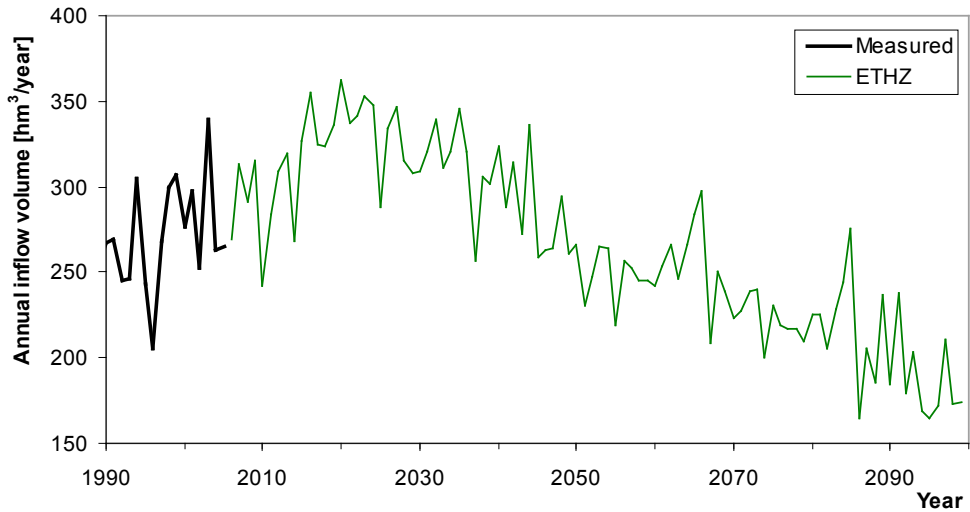


Fig. 47: Apports annuels dans la retenue de Mauvoisin selon le scénario ETHZ.

La variation interannuelle des apports est importante, ce qui rend peu lisible une comparaison des différents scénarios climatiques. Pour cette raison, une moyenne sur 5 ans est proposée pour lisser les valeurs et dégager les tendances (Fig. 48). Pour le scénario de référence, les apports restent constants à approximativement  $270 \text{ hm}^3/\text{an}$  jusqu'en 2030, puis diminuent jusqu'à atteindre  $210 \text{ hm}^3/\text{an}$  à la fin du siècle. Pour le scénario de refroidissement  $-2^\circ$ , la diminution intervient dès le début de la simulation et l'apport est de  $185 \text{ hm}^3/\text{an}$  en 2100.

Pour le scénario  $+4^\circ$ , l'apport jusqu'en 2035 est comparable à celui mesuré au début des années 2000, puis il diminue jusqu'à  $220 \text{ hm}^3/\text{an}$  en 2100. Pour le scénario ETHZ, le réchauffement rapide permet d'atteindre un pic des apports de  $340 \text{ hm}^3/\text{an}$  en 2020 avant une diminution plus rapide que pour les autres scénarios. Il est également intéressant de remarquer qu'en 2100, l'apport est plus faible pour le scénario ETHZ que pour le scénario  $+4^\circ$ .



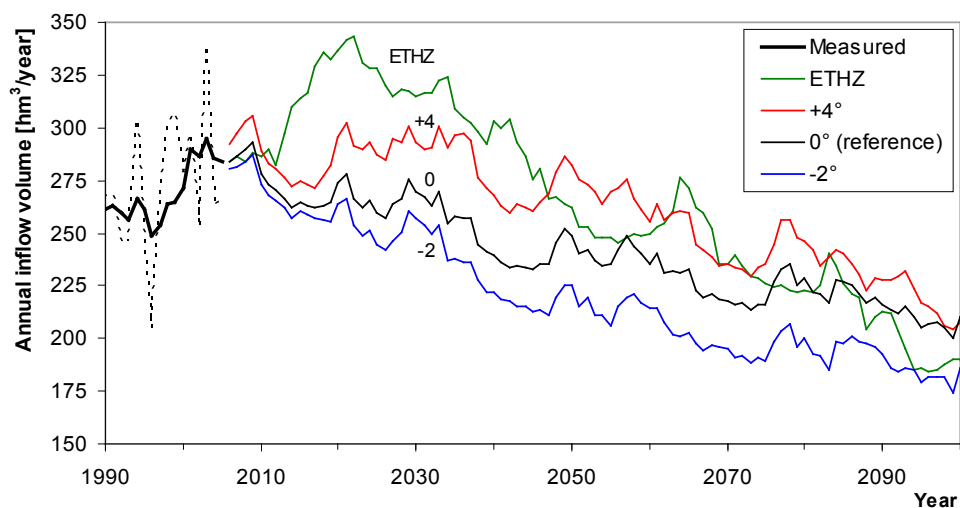


Fig. 48: Apports annuels dans la retenue de Mauvoisin selon les scénarios climatiques (moyennés sur 5 ans).

Dans tous les cas, il faut s'attendre à une nette diminution des apports au cours du 21<sup>e</sup> siècle. L'origine de ce phénomène vient du fait que les grands glaciers, tels que celui de Corbassière, ne sont plus à l'équilibre avec le climat actuel. Ils fondent donc rapidement pour perdre de la masse et tendre vers un nouvel équilibre, ce qui donne des apports importants à court terme, mais une diminution des apports à long terme.

En plus de connaître l'évolution des apports annuels sur le long terme, il est également intéressant d'étudier la répartition annuelle de ces apports. La Fig. 49 montre le régime hydrologique de 4 périodes différentes pour le scénario ETHZ. Le régime actuel (2005–2010) est glaciaire avec d'importants débits durant l'été. Avec l'augmentation de la température, le début de la fonte des neiges commence plus tôt et la fonte des glaciers diminue progressivement les apports en été. A la fin du siècle, le régime est profondément modifié avec beaucoup moins d'apports en été.

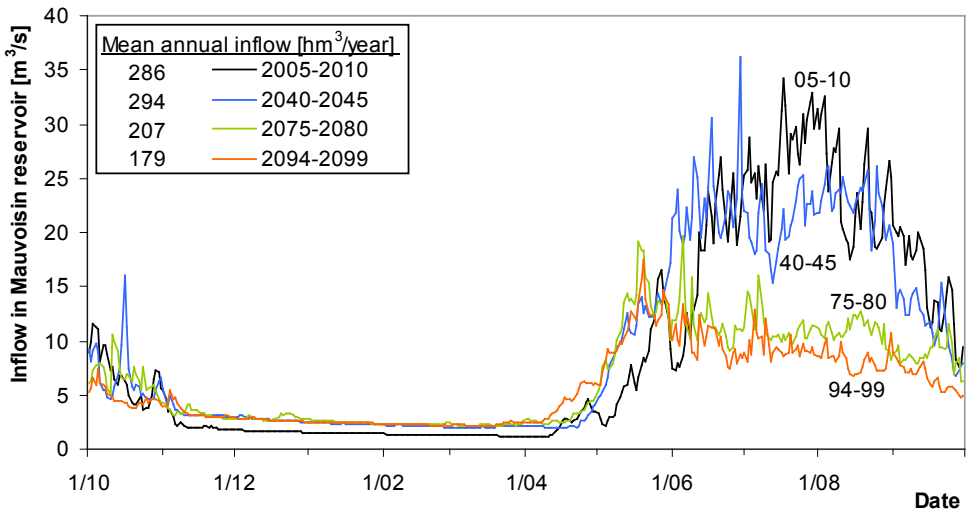


Fig. 49: Régime hydrologique des apports de Mauvoisin pour le scénario ETHZ (moyenné sur 5 ans).

Pour le scénario de référence ( $0^\circ$ ), montré sur la Fig. 50, une diminution globale des apports est engendrée par moins de fonte glaciaire en été. La diminution des apports intervient rapidement, contrairement au scénario ETHZ où les apports sont encore importants durant la période 2040–2045.

Pour un refroidissement (Fig. 51), la diminution des apports est encore plus forte que celle du scénario de référence. Bien que les précipitations soient rigoureusement identiques dans les deux scénarios, les glaciers fondent moins avec un scénario refroidissement, et celui-ci fait même légèrement croître les glaciers sur la fin du siècle, ce qui stocke durablement une partie des précipitations. La diminution des températures retarde progressivement la fonte des neiges au printemps.

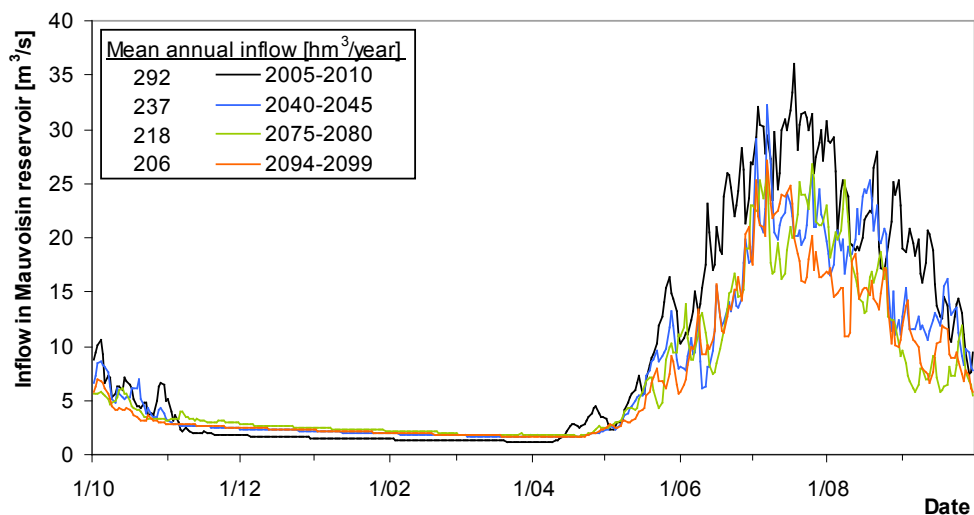


Fig. 50: Régime hydrologique des apports de Mauvoisin pour le scénario 0° (moyenné sur 5 ans).

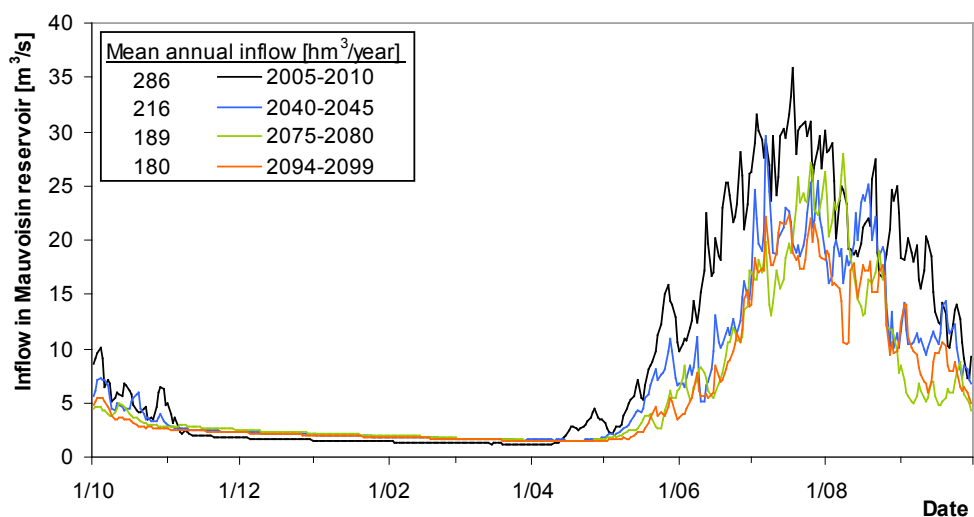


Fig. 51: Régime hydrologique des apports de Mauvoisin pour le scénario -2° (moyenné sur 5 ans).

Finalement, la Fig. 52 permet de comparer directement les régimes hydrologiques des 3 scénarios étudiés ci-dessus à la fin du 21<sup>e</sup> siècle. Le scénario de référence et le scénario de refroidissement ont un régime semblable, mais un volume d'apports différent. Le scénario de réchauffement ETHZ a presque le même volume d'apport que le scénario refroidissement, mais un régime très différent.

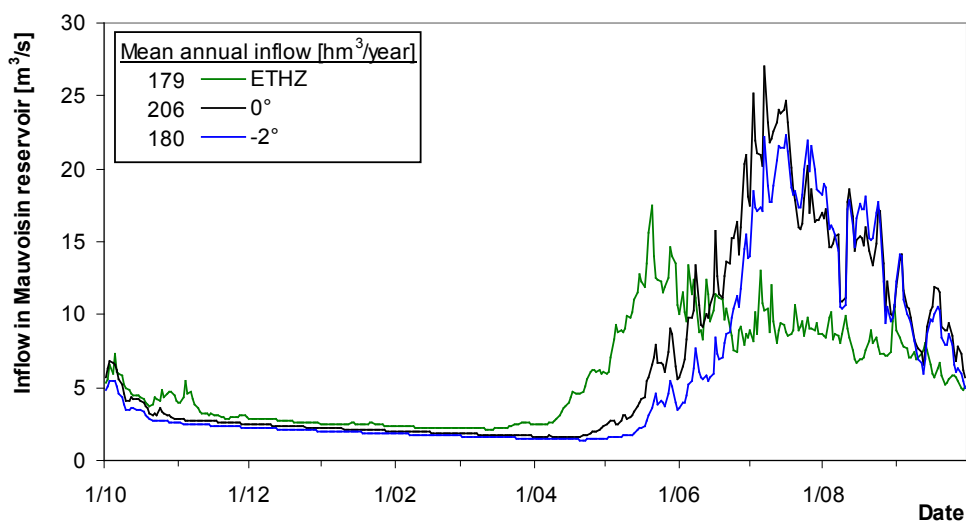


Fig. 52: Comparaison des régimes hydrologiques selon 3 scénarios à la fin du 21<sup>e</sup> siècle.

### 9.1.6 Analyse des scénarios climatiques – origine des débits

Pour mieux comprendre l'évolution du régime hydrologique et la diminution des apports, il est intéressant de déterminer l'origine des débits et la distribution des précipitations.

Comme la contribution des glaciers a un intérêt particulier, une distinction est effectuée entre un débit glaciaire durable et un débit glaciaire provenant du stock de glace. Un débit du stock est provoqué par une perte de masse du glacier qui cherche à se rééquilibrer. Le volume annuel du débit durable doit être identique au volume de neige transformée en glace sur la même année. C'est donc la fonte que le glacier aurait s'il était à l'équilibre.

Un raisonnement identique peut être effectué pour les précipitations. Une distinction est faite entre une formation de glace qui renouvelle la partie du glacier fondue chaque année et la formation d'un stock de glace (phénomène qui intervient avec le scénario de refroidissement).

La Fig. 53 montre l'évolution de la provenance des débits entrants dans Mauvoisin pour le scénario ETHZ. La partie non-glaciaire (débit provenant du ruissellement, de l'infiltration et de la fonte des neiges) reste constante à environ 74 % du volume des précipitations. L'apport provenant de la fonte glaciaire durable diminue de 13 % au début du siècle à 2.1 % en 2100 puisque les glaciers présents sur le bassin versant ont presque entièrement disparus. L'apport provenant de la perte de masse des glaciers est actuellement très important avec environ 50 % du volume des pré-

cipitations. Cela implique que certaines années, l'apport total dans Mauvoisin représente plus de 160 % du volume des précipitations tombées dans le bassin versant. A mesure que les glaciers fondent, l'apport par destockage glaciaire diminue. Il atteint environ 13 % à la fin du siècle et devient nul lorsque les glaciers sont à l'équilibre avec le climat.

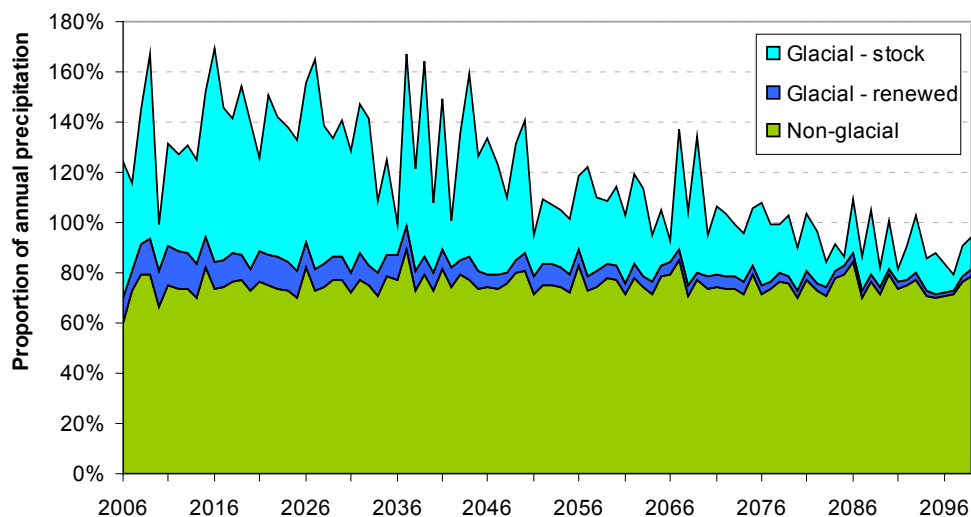


Fig. 53: Origine des débits entrants dans Mauvoisin pour le scénario ETHZ.

La Fig. 54 montre comment sont distribuées les précipitations tombant dans le bassin versant de Mauvoisin pour le scénario ETHZ. L'évaporation est de 12.5 % au début du siècle et elle double à 25 % à la fin du siècle. Cette augmentation vient de la hausse des températures. La proportion de l'apport glaciaire durable et de l'apport non-glaciaire est discutée à la Fig. 54. Dans ce scénario, il n'y a jamais de formation de stock de glace. Finalement, la dernière composante est le stock dans le terrain qui compense en partie les variations annuelles et dont la proportion reste faible.

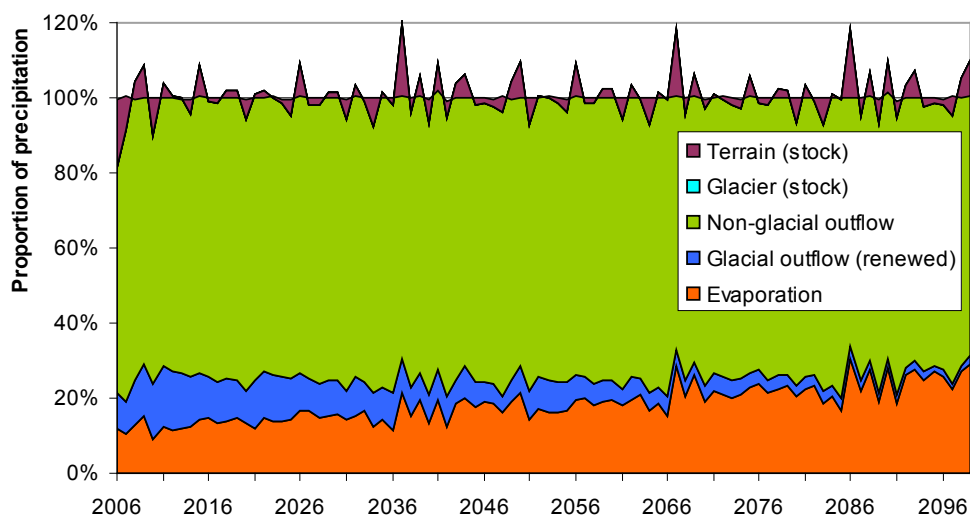


Fig. 54: Distribution des précipitations du bassin versant de Mauvoisin pour le scénario ETHZ.

La Fig. 55 montre l'écart entre les apports et les précipitations ainsi que la diminution de volume des glaciers pour le scénario ETHZ. De 2005 à 2040, les précipitations diminuées de l'évaporation dans le bassin versant (naturel + adductions) du lac de Mauvoisin présentent un volume moyen de  $201 \text{ hm}^3/\text{an}$ . Sur la même période, les apports moyens sont de  $316 \text{ hm}^3/\text{an}$ , ce qui signifie que  $115 \text{ hm}^3/\text{an}$  sont apportés par une diminution de la masse des glaciers. A mesure que ceux-ci fondent, les apports diminuent et se rapprochent des précipitations. A la fin du siècle, le volume des glaciers n'est plus que de  $0.46 \text{ km}^3$ .

Dans le scénario ETHZ, une diminution des précipitations contribue également à une diminution des apports. De plus, l'augmentation des températures accroît la part des précipitations perdues par évaporation. Une fois les glaciers à l'équilibre, il faut s'attendre à des apports de l'ordre de  $150 \text{ hm}^3/\text{an}$ , soit beaucoup moins que la moyenne actuelle.

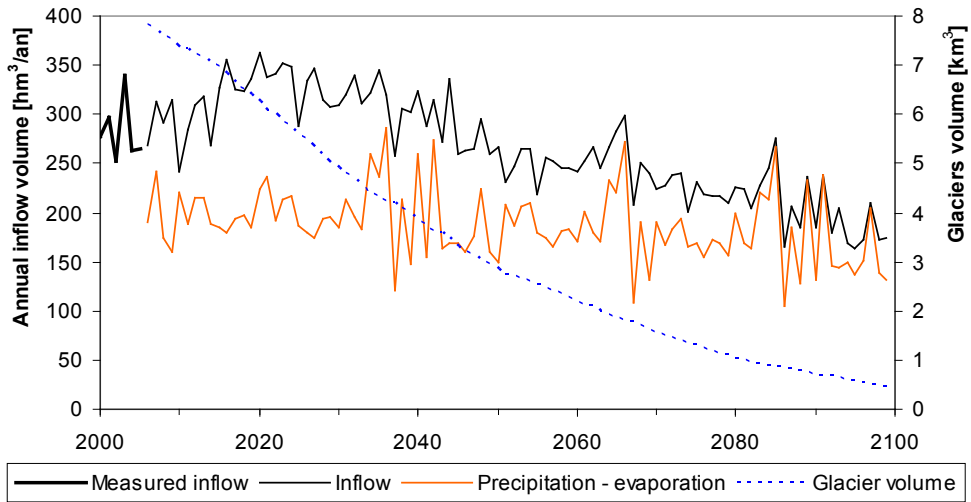


Fig. 55: Comparaison des apports dans Mauvoisin et des précipitations dans le bassin versant pour le scénario ETHZ.

Pour le scénario de référence (0°), la partie non-glaciaire des apports représente 74 % des précipitations au début du siècle et 76 % en 2100 (Fig. 56). L'apport de la fonte durable des glaciers diminue de 14 % à 10 % au cours du siècle. Par rapport au scénario ETHZ, cette réduction est faible. La réduction du volume des glaciers apporte en moyenne 37 % du volume des précipitations les premières années et diminue à 10 % à la fin du 21<sup>e</sup> siècle. Bien que la contribution du stock glaciaire soit plus faible que celle du scénario ETHZ, des apports extrêmes à 160 % des précipitations se produisent également quelques années.

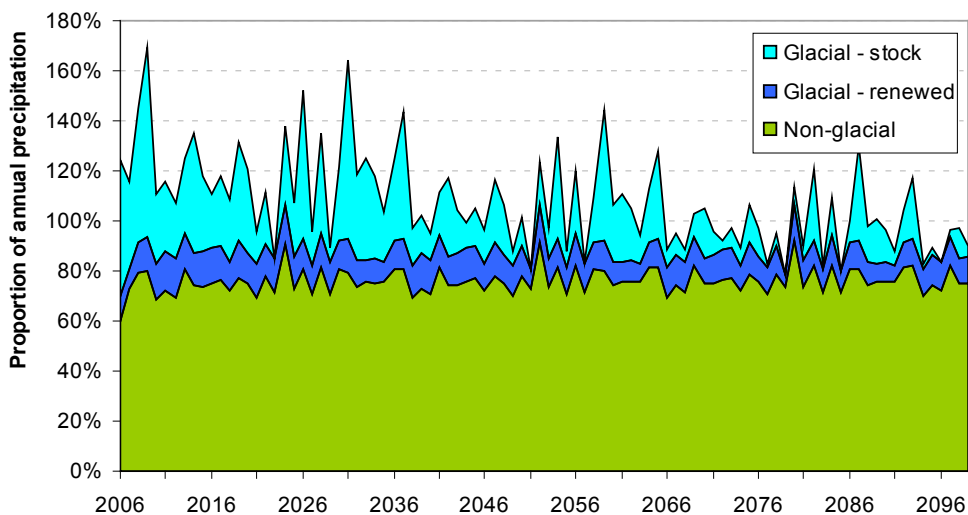


Fig. 56: Origine des débits entrants dans Mauvoisin pour le scénario 0° (référence).

La distribution des précipitations évolue très peu au cours du siècle. L'évaporation augmente de 12 % à 14 % puisque la surface non recouverte par les glaciers augmente. La nouveauté par rapport au scénario ETHZ est la formation d'un stock de glace en 2023 (1.5 %), 2051 (4.8 %), 2079 (6.77 %) et 2085 (2.7 %).

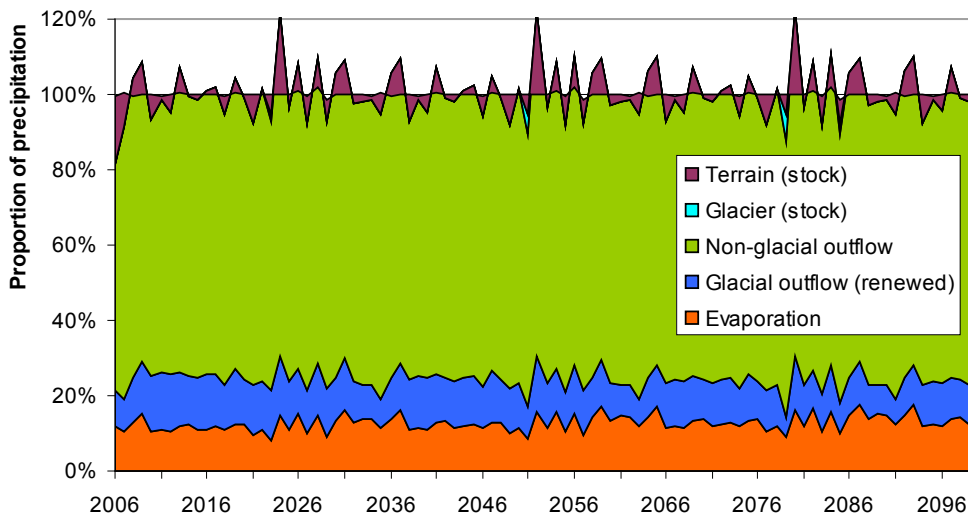


Fig. 57: Distribution des précipitations du bassin versant de Mauvoisin pour le scénario 0°.



Contrairement au scénario ETHZ, le scénario de référence n'a pas de diminution des précipitations. En soustrayant l'évaporation, elles sont en moyenne de 200  $\text{hm}^3/\text{an}$  (Fig. 58). Les apports moyens sont de 275  $\text{hm}^3/\text{an}$  au début et se réduisent à 210  $\text{hm}^3/\text{an}$  à la fin du siècle. Le volume des glaciers se réduit de moitié au cours du siècle pour atteindre 3.81  $\text{km}^3$  en 2100. La diminution de volume ralentit durant tout la période étudiée (les  $\frac{3}{4}$  du volume perdu disparaissent sur les 50 premières années), ce qui indique que les glaciers tendent vers un nouvel équilibre.

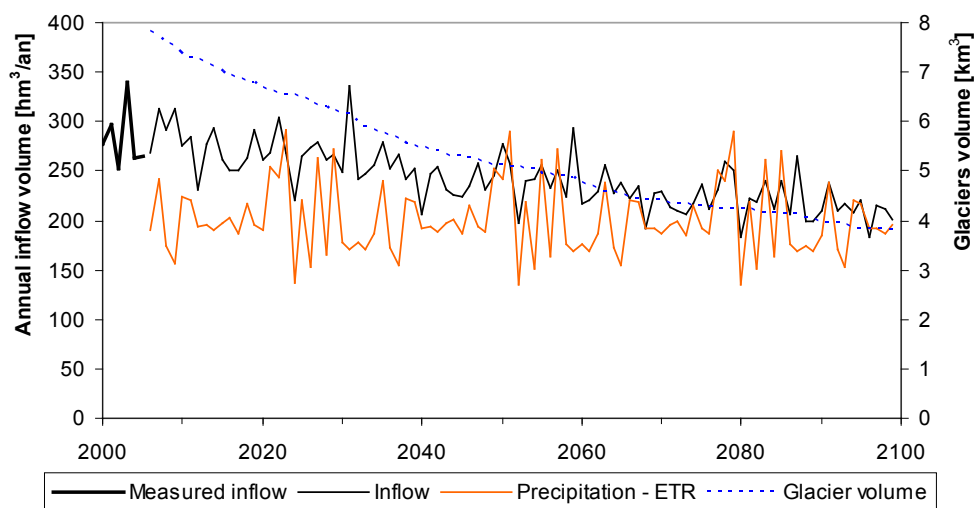


Fig. 58: Comparaison des apports dans Mauvoisin et des précipitations dans le bassin versant pour le scénario 0°.

L'origine des apports pour le scénario -2° est présentée à la Fig. 59. La contribution non-glaciaire diminue de 75 % à 70 % au cours du siècle. Les apports glaciaires durables diminuent de 14 % à 12 % puisque le refroidissement diminue la fonte des glaciers. Les apports glaciaires non durables passent de 34 % au début du siècle à une moyenne de 2 % à la fin.

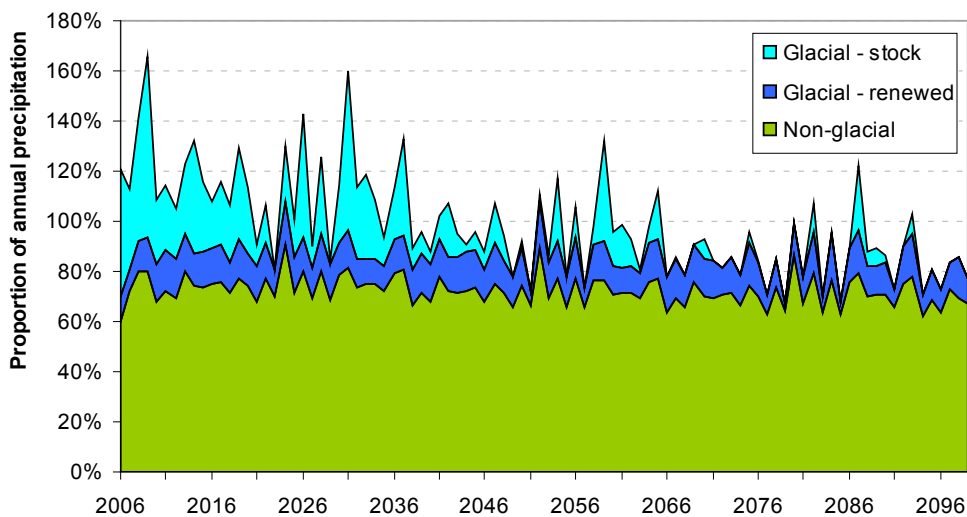


Fig. 59: Origine des débits entrants dans Mauvoisin pour le scénario -2°.

La part de l'évaporation, passe de 12 % à 10 % (Fig. 60). La formation de stock de glace représente en moyenne 3.4 % à la fin du siècle. Combiné à une fonte moyenne du stock de 2 %, cela signifie donc qu'en moyenne 1.4 % des précipitations sont durablement stockées, soit environ 4 hm<sup>3</sup>/an.

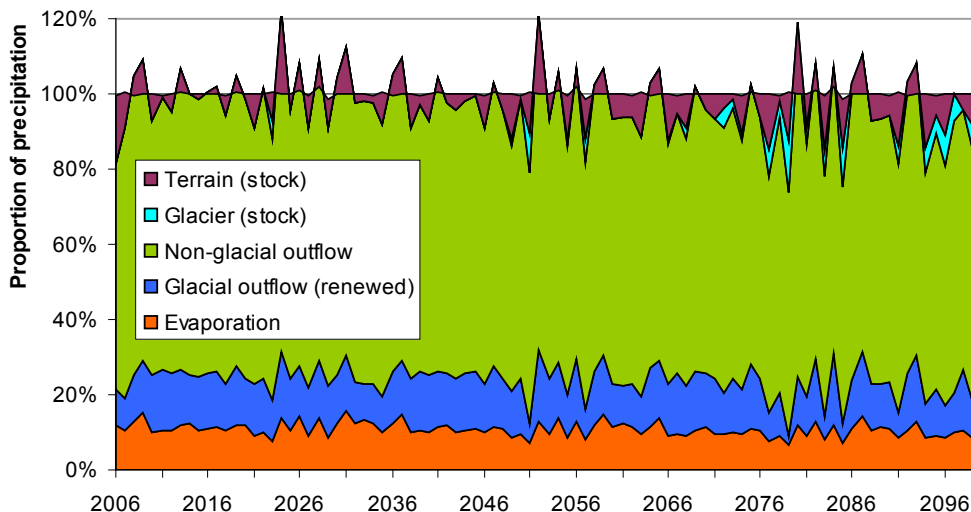


Fig. 60: Distribution des précipitations du bassin versant de Mauvoisin pour le scénario -2°.

Dans le scénario de refroidissement, les précipitations sont identiques au scénario de référence. Diminuées de l'évaporation, elles sont en moyenne de 200 hm<sup>3</sup>/an (Fig. 61). Les apports évoluent de 270 hm<sup>3</sup>/an au début du siècle à 182 hm<sup>3</sup>/an en 2100. Le volume des glaciers atteint un minimum en 2071 avec 5.41 km<sup>3</sup> et croît à nouveau pour atteindre 5.54 km<sup>3</sup> en 2100.

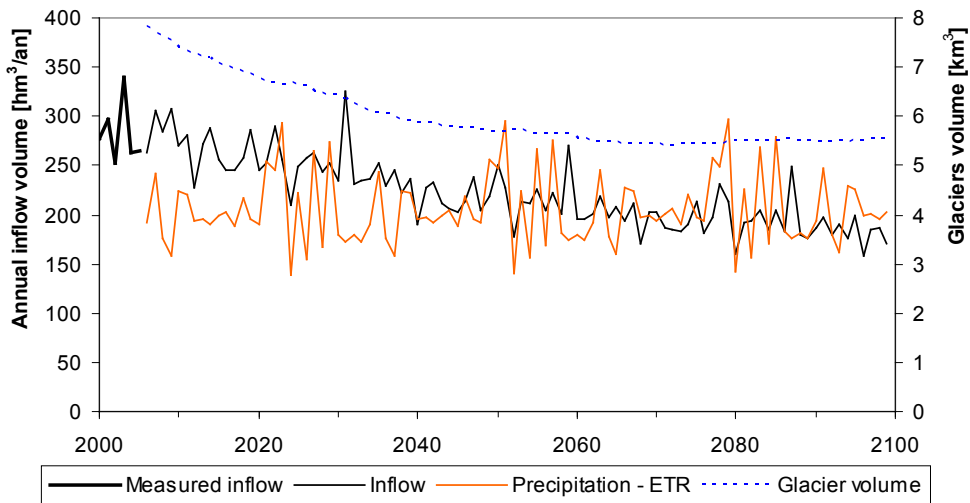


Fig. 61: Comparaison des apports dans Mauvoisin et des précipitations dans le bassin versant pour le scénario -2°.

### 9.1.7 Analyse énergétique et économique des aménagements existants et futurs

L'analyse des aménagements est effectuée avec le scénario ETHZ uniquement. Pour l'effectuer, 3 périodes sont étudiées. La première, 2005–2010, sert de référence pour analyser la situation future. La période 2075–2080 correspond aux premières années de mise en service de l'aménagement à Corbassière et la période 2094–2099 est utilisée pour analyser la situation à la fin du siècle où les apports sont les plus faibles.

Pour ces 3 périodes, divers aménagements sont étudiés: l'aménagement des FMM seul, l'aménagement FMM + Mauvoisin II, l'aménagement FMM + Corbassière PT et finalement l'aménagement FMM + Mauvoisin II + Corbassière PT.

Il est établi que les apports diminuent de manière non négligeable: de 290 hm<sup>3</sup>/an en 2005–2010 à 216 hm<sup>3</sup>/an en 2075–2080 et à 178 hm<sup>3</sup>/an en 2094–2099. Le lac de Mauvoisin a une capacité de 204 hm<sup>3</sup> et il n'est donc plus possible d'effectuer

des cycles de remplissage annuels à la fin du 21<sup>e</sup> siècle. Dans le modèle la hauteur minimale du lac est relevée de 1'840 m s.m. en 2005 à 1'880 en 2075 et à 1'900 en 2094. En réalité, le volume d'eau qui ne peut plus être exploité annuellement doit être utilisé pour atténuer les variations interannuelles et servir de réserve.

Le Tab. 21 montre la puissance des aménagements ainsi que leur production/consommation annuelle. La construction de Mauvoisin II apporte beaucoup de puissance, mais la production n'est que très légèrement augmentée. Ce projet n'augmente pas les apports disponibles et la légère augmentation de production est due à une amélioration du rendement des machines. Les deux tiers de la production sont concentrés durant l'hiver. Cette répartition est obtenue au travers de l'algorithme de production d'énergie. Elle pourrait être modifiée au prix de perdre des heures de pointes (par exemple pour produire plus en hiver, mais en perdant des heures de pointe très intéressantes en été).

L'analyse économique est effectuée en considérant une annuité constante de 5.48 % du coût de construction (correspondant à un taux d'intérêt de 5 % sur une durée de 50 ans). Les coûts d'exploitation annuels sont estimés à 2 % du coût de construction. Les coûts de construction établis au § 0 sont de 495 Mio EUR pour Mauvoisin II et de 450 Mio EUR pour Corbassière. Les coûts d'achat de l'énergie ainsi que les recettes provenant de la vente sont directement donnés par RS3.0

En utilisant les prix EEX avec une croissance annuelle de 0 %, le bénéfice annuel pour les aménagements comprenant Mauvoisin II est très défavorable par rapport à l'aménagement FMM seul, alors que l'ajout de Corbassière n'a qu'une faible influence. Comme expliqué auparavant au §0, le prix spot ne reflète pas complètement le marché, c'est pourquoi un facteur lié à la puissance garantie est utilisé.

Dans le Tab. 21, ce facteur (EEX factor) est calculé de manière à ce que le bénéfice de l'aménagement FMM seul soit identique à l'aménagement FMM + Mauvoisin II. Cela donne une valeur seuil à partir de laquelle l'ajout de Mauvoisin II est intéressant. Pour la période de référence 2005–2010, il faut que le prix de vente augmente de 5.1 % par tranche de 100 MW par rapport au marché spot (6.9 % et 8.3 % respectivement pour 2075–2080 et 2094–2099). Avec ce facteur, la construction d'un aménagement de pompage-turbinage à Corbassière est très intéressante.

Le prix de revient est un indicateur économique plus précis. Il indique les coûts engendrés par la production d'une certaine quantité d'énergie. Sur la Fig. 62, seuls 3 aménagements sont considérés. Les deux premiers utilisent la chute entre Mauvoisin et Riddes, alors que le troisième utilise la chute entre Corbassière et Riddes. Ces deux chutes peuvent être combinées pour former les 4 aménagements discutés précédemment. Cette séparation est nécessaire, puisque les prix de revient et les temps de fonctionnement des deux chutes sont différents.

Tab. 21: Résumé des résultats énergétiques et économiques pour les aménagements étudiés.

Period		2005-2010		2075-2080				2094-2099				
Mauvoisin II		-	yes	-	yes	-	yes	-	yes	-	yes	
Corbassière P-S		-	-	-	-	yes	yes	-	-	yes	yes	
<b>Power</b>	Run-of-the-river	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	MW
	Storage	363	913	363	913	863	1'413	363	913	863	1'413	MW
<b>Production</b>	Corbassière					1'126	1'091			1'040	1'024	GWh/year
	(winter)					51%	50%			51%	50%	-
	Mauvoisin	1'001	1'021	755	768	762	771	617	624	619	626	GWh/year
	(winter)	65%	57%	71%	70%	70%	71%	68%	67%	68%	68%	-
<b>Pump energy</b>	Corbassière	0	0	0	0	-1'399	-1'352	0	0	-1'372	-1'348	GWh/year
<b>Expenditures</b>	Energy purchase	0	0	0	0	44	42	0	0	44	42	mil. EUR/year
	Annual installment	29	60	29	60	56	88	29	60	56	88	mil. EUR/year
	Operation costs	14	26	14	26	24	36	14	26	24	36	mil. EUR/year
<b>Production costs</b>	Corbassière					72	73			78	78	EUR/MWh
	Mauvoisin	43	84	57	112	57	112	70	138	70	137	EUR/MWh
<b>Income</b>	Energy sale EEX 0%	71	86	58	71	140	152	50	62	128	139	mil. EUR/year
<b>Benefits</b>		27.3	0.2	14.7	-15.3	15.6	-13.7	7.2	-24.3	3.3	-26.7	mil. EUR/year
<b>Income</b>	Guaranteed power	84	127	72	115	224	300	66	109	219	302	mil. EUR/year
<b>EEX multiplication factor</b>		19%	47%	25%	63%	60%	98%	30%	76%	72%	118%	-
<b>Benefits</b>		40.4	40.7	29.2	29.2	99.2	134.5	22.5	22.7	95.1	136.4	mil. EUR/year

La réduction des apports au cours du 21<sup>e</sup> siècle a un impact très important sur le prix de revient des aménagements FMM et FMM + Mauvoisin II. Les coûts de production restent les mêmes, mais la quantité d'énergie produite diminue proportionnellement aux apports. En revanche, le temps de fonctionnement est réduit, ce qui permet de mieux concentrer la production sur les heures de pointe et donc de bénéficier de prix de vente plus élevés. Seule la structure des prix sur le marché électrique permet de déterminer lequel de ces deux aménagement est le plus intéressant.

Pour le palier de pompage-turbinage Corbassière, la variation des apports n'a qu'un effet minime. En effet, seule 6 % de la production vient des apports (du bassin versant de Corbassière). Le reste de la production est assuré par des cycles de pompage-turbinage dans lesquels l'eau est utilisée à circuit fermé. La différence visible entre 2075–2080 et 2094–2095 est due à la variation des apports naturels dans les lacs de Mauvoisin et Corbassière, ainsi qu'au prix du marché. La combinaison de ces deux facteurs est différente, ce qui engendre un temps de fonctionnement et une production différents.

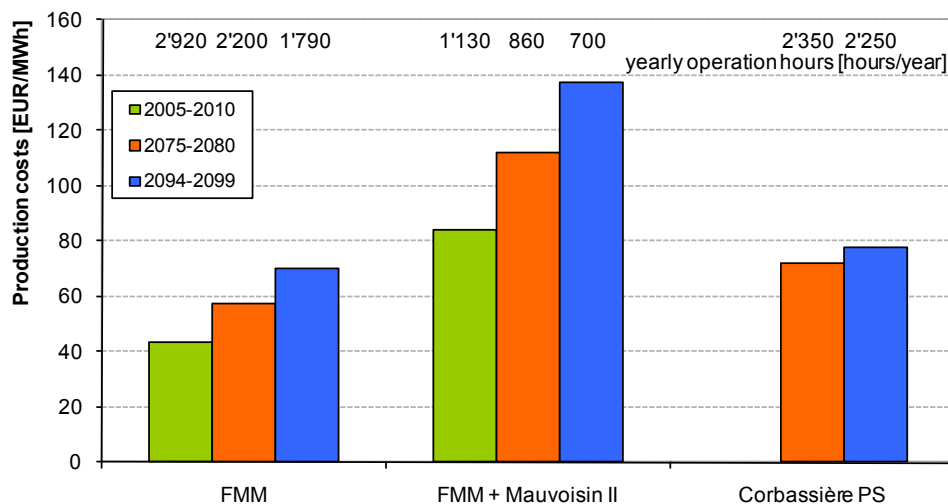


Fig. 62: Prix de revient et temps de fonctionnement annuel des aménagements.

### 9.1.8 Conclusions

L'étude sur le bassin versant de Mauvoisin a permis de mieux connaître la contribution des glaciers dans les apports, mais aussi de se faire une idée sur l'évolution de ces apports à long terme selon différents scénarios climatiques. La fonte des glaciers contribue actuellement à 40 % des apports, ce qui est très important sachant que les glaciers recouvrent 37 % de la surface du bassin versant. De cet apport glaciaire, seuls 30 % sont durables, autrement dit 70 % proviennent de la perte de masse des glaciers qui se rééquilibrent à cause du changement climatique. Pour la production d'énergie, cela signifie qu'en 2100 (selon le scénario climatique ETHZ), les apports ne seront plus que de 180 hm<sup>3</sup>/an, soit les 2/3 des apports actuels. Le régime hydrologique sera aussi considérablement modifié avec beaucoup moins de débit durant l'été.

La deuxième partie s'est focalisée sur la possibilité d'utiliser un nouveau lac à Corbassière pour étendre l'aménagement des Forces Motrices de Mauvoisin. Ce lac devrait être libéré par le glacier de Corbassière au plus tard en 2075. La proximité de ce lac avec celui de Mauvoisin et son volume important (1/4 de celui de Mauvoisin) font que la chute moyenne qui sépare ces deux lacs est très intéressante à exploiter en pompage-turbinage. L'étude a montré que sur la base des prix du marché spot EEX, une centrale de 500 MW serait économiquement intéressante. Néanmoins, la rentabilité d'un tel projet reste sujette à l'évolution des prix de l'électricité (principalement le prix de l'électricité par rapport aux prix de construc-

tion et la différence de prix entre les heures creuses et les heures de pointe) qui est difficile à prédire à si long terme.

Le nouveau barrage Corbassière doit être conçu avec une revanche suffisant qui permet de retenir éventuelles ondes du au débordement des nouveaux lacs qui se formeront plus à l'amont.

## 9.2 Naturrisiken

### 9.2.1 Potenzielle Seen

Im Gletscherbett des Glacier de Corbassière (Fig. 63) werden mehrere Übertiefungen vermutet, aus denen neue Seen entstehen können (Fig. 4, Fig. 65). Der Gletscher liegt vermutlich vorwiegend auf Fels (Fig. 8), was die Seenbildung begünstigen dürfte. Während aufgrund der Modellergebnisse im unteren Teil der heutigen Gletscherzunge keine Seen mit einem Volumen deutlich über 1 Mio. m<sup>3</sup> zu erwarten sind, könnte sich in der Mitte der Gletscherzunge ein grosser See mit einem Volumen von einigen Dutzend Mio. m<sup>3</sup> bilden oder künstlich gestaut werden (Fig. 4, Fig. 65). Im Kapitel 9.1 wurde dieser See als Lac de Corbassière bezeichnet. Aufgrund der Nähe zum bestehenden Stausee Lac de Mauvoisin ist der Lac de Corbassière für die Wasserkraftnutzung interessant (Kapitel 9.1). Seine Entstehung wird aufgrund des Gletscherrückgangs bis etwa gegen die Jahrhundertmitte erwartet, könnte jedoch aufgrund der geringen Oberflächenneigung (< 5°) auch schon früher auf dem Eis (supraglazial) eintreten (Frey et al., 2010).



Fig. 63: Glacier de Corbassière von der Cabane de Panossière aus. Rechts der Combin de Corbassière (3'716 m ü.M.), hinten der Grand Combin (4'314 m ü.M.). M. Künzler, 29.07.2011.



Fig. 64 Staudamm des Lac de Mauvoisin.  
M. Künzler, 29.07.2011.

### 9.2.2 Stürze und Schwallwellen

Die potenziellen Anrisszonen von Felsstürzen in den Lac de Corbassière sind in Fig. 65 dargestellt (Gesamtfläche ca. 350 ha). Diese erste Abschätzung basiert auf Erfahrungswerten sowie auf der nach dem Gletscherrückgang vermuteten Topographie. Es wurden Zonen mit einer Neigung  $> 30^\circ$  berücksichtigt, da Felsstürze bei kleinerer Neigung unwahrscheinlich sind (Romstad et al., 2009). Je höher das Pauschalgefälle (Verhältnis von Vertikal- zu Horizontalabstand) zwischen Anrisszone und See, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Sturz den See erreicht. Fischer (2006) schlägt zur Abschätzung der maximalen Reichweite von Felsstürzen ein Pauschalgefälle von 36 % vor. Aus der Literatur sind jedoch auch Werte  $< 26$  % bekannt (z.B. Noetzli et al., 2006; Romstad et al., 2009). Bei grosser Neigung der potenziellen Sturzbahn müssen auch kleinere Ereignisse in Betracht gezogen werden, grosse Ereignisse können sich jedoch auch über weniger geneigte Sturzbahnen und damit über grosse Distanzen ausbreiten (z.B. Romstad et al., 2009; Scheidegger, 1973). Vor allem die Westseite des Lac de Corbassière weist aus topographischer Sicht ein hohes Sturzpotezial auf. Es handelt sich dabei um eine Zone mit möglichem fleckenhaften (warmen) Permafrost (vgl. Fig. 9), was Stürze begünstigen könnte (Gruber & Haeberli, 2007; Ravanel & Deline, 2010). Dass Stürze aus der noch vergletscherten Nordwand des Grand Combin den Lac de Corbassière erreichen, ist aufgrund des geringen Pauschalgefälles eher unwahrscheinlich. Hingegen dürften Stürze aus diesen Steiflanken höher gelegene Seen am Fuss des Grand Combin erreichen, die sich in der zweiten Jahrhunderthälfte bilden dürften (9.2.3). Bis das Eis auf wenige Restflecken geschmolzen ist, muss neben Felsstürzen auch mit Eisstürzen und Eislawinen gerechnet werden, welche tendenziell eine grössere Reichweite als Felsstürze aufweisen (Fischer, 2006). Sollte der potenzielle Lac de Corbassière als Folge eines Sturzes oder einer Schwallwelle aus einem höher gelegenen See ausbrechen, würde die Flutwelle ca. 2 km unterhalb von Fionnay die Drance im Val de Bagnes erreichen, wo Schäden an Strassen und Siedlungen wahrscheinlich sind. Wie Modellierungen zeigen, können Auswirkungen bis hinunter nach Martigny bei einem Grosseignis nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden (Fig. 67).

### 9.2.3 Kaskadeneffekte

Da nach der Jahrhundertmitte oberhalb des Lac de Corbassière die Entstehung von weiteren Seen erwartet wird, besteht die Gefahr von Kaskadeneffekten. In einer solchen Kettenreaktion könnte ein Sturz aus der Nordflanke des Combin de la Tsessette respektive der Nordwestflanke des Combin de Valsorey einen Seeaus-



bruch auslösen, welcher wiederum Schwallwellen in weiter unten gelegenen Seen auslöst. Auch Eislawinen u.a. aus den steilen Gletscherpartien (in Fig. 65 an den Spalten erkennbar) könnten in den See stürzen.

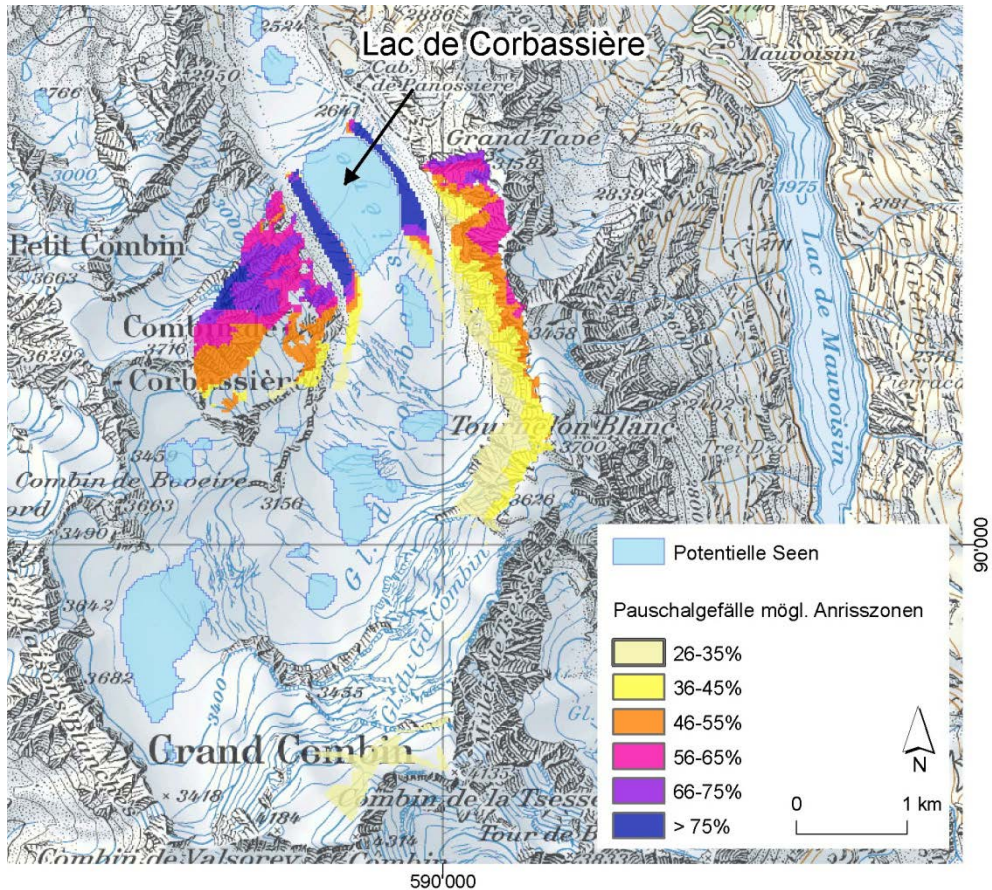


Fig. 65: Glacier de Corbassière mit potenziellen neuen Seen (blau). Felsstürze aus der eingefärbten Zone (min. Gefälle: 30°) können den Lac de Corbassière erreichen. Je höher das Pauschalgefälle (Verhältnis von Vertikal- zu Horizontalabstand) zwischen Anrisszone und See, desto höher die Wahrscheinlichkeit, dass ein Sturz den See erreicht (vgl. Lauftex; Daten: M. Serraino). Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA110005).

## 9.2.4 Fazit

Der potenzielle Lac de Corbassière, dessen Entstehung in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts erwartet wird, stellt neben seiner Attraktivität für die Wasserkraftnutzung vor allem auch im Zusammenhang mit der wahrscheinlichen Entstehung weiterer Seen am Fuss des Grand Combin ein ernst zu nehmendes Gefahrenpotenzial

dar. Falls sich Handlungsbedarf ergäbe, könnte die Konstruktion eines Dammes mit kombinierter Funktion (Wasserkraft und Hochwasser-Rückhalt) eine interessante Option sein.

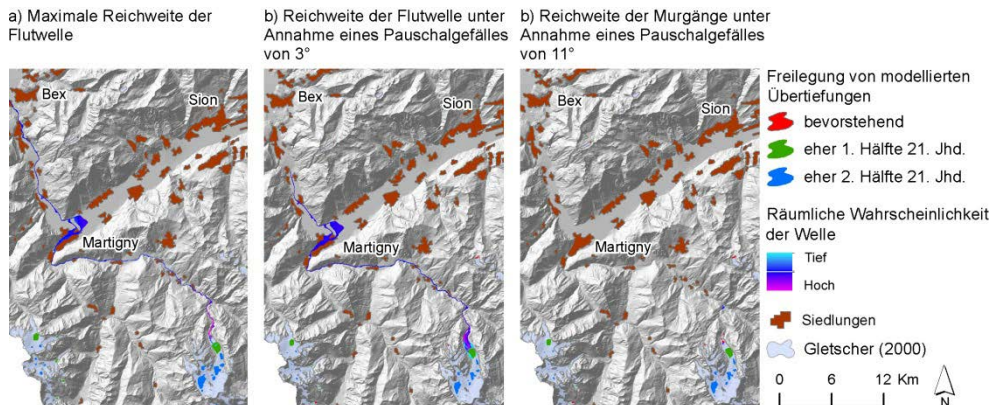


Fig. 66: Vergleich der verschiedenen Szenarien für Murgang (c) und Flutwelle (a, b). Dargestellt sind die maximalen Reichweiten sowie die Reichweiten, die unter Annahme von empirisch erhobenen Pauschalgefällen erreicht werden (Gletscherseen: Andreas Linsbauer, Geographisches Institut UZH; Gletscher: Schweizer Gletscherinventar 2000); Karte reproduziert mit der Bewilligung von swisstopo (BA110005).

### 9.3 Touristisches Potenzial

Im Val de Bagnes sollten aus touristischer Sicht bezüglich Gletscherseen folgende zwei Hauptaspekte beachtet werden: das Gefahrenpotenzial bei einem Seeausbruch für die Gebiete unterhalb von Fionnay sowie die Auswirkungen der Landschaftsveränderungen für den Bergsport rund um den Grand Combin (4'314 m ü.M.). Die Destination Verbier stellt mit ihren unzähligen Ferien- und Zweitwohnungen sowie den Hotelbetten das touristische Zentrum dar und liegt auf der östlichen Seite des Tals am Hang. Ein Ausbruch des Gletschersees auf dem Glacier de Corbassière würde Verbier nicht direkt tangieren. Allerdings könnte die Drance de Bagnes unten im Tal stark anschwellen bzw. teilweise über die Ufer treten, sodass die Zufahrt nach Verbier unterbrochen wäre. Obwohl die Drance de Bagnes meistens weit unterhalb der Strasse und der Schiene (Zuglinie von Martigny bis Le Châble) fliesst, könnten Teile der Hauptstrasse und des Schienentrassees beschädigt bzw. unterspült werden. Daher ist es wahrscheinlich, dass das Tal während einiger Tage von der Umwelt abgeschnitten wäre. Die eingeschlossenen Touristen könnten aber insbesondere in Verbier das ganze touristische Angebot weiterhin nutzen. Die Betriebsausfälle dürften deshalb nicht sehr gross sein. Im hinteren Teil des Tals in

Richtung Staumauer gibt es kleine Dörfer mit einem kleinen touristischen Angebot (Museen, kleine Hotels und Ferienwohnungen, Campingplatz). Verschiedene Tafeln entlang der Drance de Bagnes weisen aufgrund von Regulierungen des Stausees bereits heute auf das mögliche plötzliche Anschwellen des Flusses hin. Da eine Flutwelle aber erst unterhalb von Fionnay in den Fluss käme, ist dieser hintere Teil des Tals nicht direkt betroffen.

Zuhinterst im Val de Bagnes liegt der Stausee Lac de Mauvoisin mit seiner imposanten Staumauer. Mit dem Auto oder mit dem öffentlichen Bus fährt man bis fast zur Staumauer. Hier ist ein idealer Ausgangspunkt für Wanderungen und Hochgebirgstouren. Das Gebiet rund um den Corbassière-Gletscher ist nur für gute Wanderer zugänglich. Es bietet mit dem grossen Gletscher, eingebettet in eine Kette von Drei- und Viertausender, einen eindrucklichen Anblick. In der ganzen Gegend hat es einige kleinere (Gletscher)-Seen, welche in verschiedenen Blau-Grün-Tönen die Landschaft aufwerten. Experten schätzen die Atmosphäre von der Cabane de Panossière (Fig. 63) mit Blick auf den Gletscher als anregend ein (vgl. Fig. 67). Obwohl der Rückzug des Gletschers sichtbar ist, bleibt die Attraktivität der Landschaft auch in naher Zukunft erhalten. Entstehende kleinere und grosse Gletscherseen werden deshalb viel zu einer hohen Vielfalt und Eigenart dieser Gletscherlandschaft beitragen. Wie in Kap. 11.2 beschrieben wird, müssen auch hier in Zukunft Routen geändert oder angepasst werden, beispielsweise bei einer Gletscherüberquerung im untersten Teil des Gletschers. Aufgrund der sich verändernden Gefahrensituation (siehe Kapitel 9.2), sollte das beliebte Wander- und Klettergebiet künftig sorgfältig hinsichtlich Veränderungen beobachtet werden.

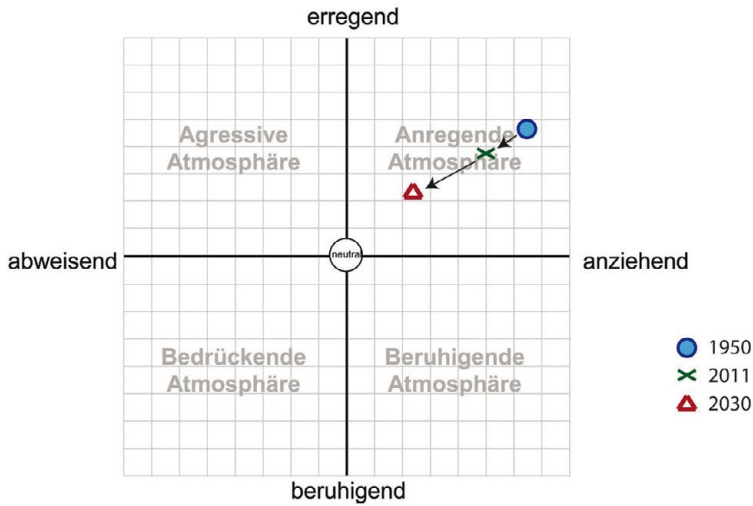


Fig. 67: Bewertung der Veränderung der Atmosphäre „Glacier de Corbassière“

## 9.4 Ausgewählte rechtliche Aspekte

- Grundsätzlich stehen Fels- und Gletschergebiete im Kanton Wallis im öffentlichen Eigentum der Munizipalgemeinden (Art. 664 Abs. 1 Zivilgesetzbuch i.V.m. Art. 163 Abs. 3 des Walliser Einführungsgesetzes zum ZGB), hier also der Commune de Bagnes. Ausnahmen sind dann möglich, wenn für einzelne Parzellen gestützt auf Urkunden Privateigentum nachgewiesen werden konnte bzw. kann (Art. 664 Abs. 2 ZGB).
- Das Gebiet Mauvoisin (inklusive Stausee und allen Gletschern im Einzugsgebiet) ist im Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN) als Objekt Nr. 1'703 Val de Bagnes verzeichnet. Schutzobjekt ist unter anderem die grossartige, stark vergletscherte Hochgebirgslandschaft, welche für Alpinisten eine besonders wertvolle Gegend darstellt. Diese Gletschergebiete sind in besonderem Masse ungeschmälert zu erhalten bzw. grösstmöglich zu schonen (Art. 5 und 6 Natur- und Heimatschutzgesetz). Zu erwähnen ist, dass der heutige Zungenbereich des Glacier de Corbassière (unterhalb der Cabane de Panossière) nicht zum BLN-Gebiet gehört (allerdings zu einem geschützten Auengebiet). Hingegen befindet sich das Gebiet, wo ein Gletschersee zwischen dem Combin de Corbassière und dem Grand Tavé entstehen könnte (vgl. Fig. 65), im BLN-Perimeter.

- Im Raum Mauvoisin befinden sich vier Auengebiete von nationaler Bedeutung. Im entsprechenden Inventar eingetragen sind die Schutzobjekte Nr. 1'163 Glacier d'Otemma (Bagnes), Nr. 1'165 Glacier du Brenay (Bagnes), Nr. 1'167 Glacier du Petit Combin (Bagnes) und Nr. 1'168 Glacier de Corbassière (Bagnes). Diese Gletschervorfelder sind als Schutzobjekte ungeschmälert zu erhalten (Art. 4 Abs. 1 Auenverordnung).
- Für den möglichen neuen Gletschersee im Bereich des Glacier de Corbassière analysiert die vorliegende Studie die Errichtung eines Pumpspeicherkraftwerks. Erweiterte Nutzungen für die Wasserkraft werden im Schutzperimeter – ohne Revision des BLN-Objekts und des Auengebiets – nur stark eingeschränkt möglich sein. Inwiefern die Vorbelastung mit Wasserkraftanlagen bei der Beurteilung eine Rolle spielen würde, bleibt offen.
- Zu beachten ist das eidgenössische Jagdbanngebiet, Schutzobjekt Nr. 36 Mauvoisin, welches sich nördlich, westlich und östlich des Lac de Mauvoisin über grosse Flächen erstreckt. Gemäss Art. 6 Abs. 1 der Verordnung über die eidgenössischen Jagdbanngebiete sorgen Bund und Kantone bei der Erfüllung ihrer Aufgaben dafür, dass die Schutzziele der Banngebiete nicht durch andere Nutzungen beeinträchtigt werden. Liegen im Einzelfall andere Interessen vor, ist anhand einer Interessenabwägung zu entscheiden.
- Der Glacier de Giétro ist im Zusammenhang mit Gletscherhochwassern bekannt. Als Seitengletscher versperrte er in Vorstossperioden das Val de Bagnes. Der Eiskegel staute als Barriere die Abflüsse der Drance immer wieder zu einem grossen See auf. Zwischen 1595 und 1818 ereigneten sich z.B. mehrere Ausbrüche mit Überflutungen bis in das Rhonetal, welche Verwüstung und Tod brachten. Heutzutage würde der Stausee solche Entwicklungen verhindern. Ein starker Vorstoss des Glacier de Giétro (angesichts der heutigen Klimaszenarien unwahrscheinlich) könnte jedoch die Gefahr eines Gletschersturzes in den See mit sich bringen (mehr dazu bei Bütler, 2006, S. 159). Sowohl die betroffenen Gemeinwesen als auch die Kraftwerkunternehmung müssten rechtzeitig Verkehrssicherungsmaßnahmen ergreifen; zu beachten wären unter anderem die Stauanlagen- und die Alarmierungsverordnung.

## 10 FALLSTUDIE OBERENGADIN

---

### 10.1 Naturrisiken

Die modellierten Übertiefungen in den Gletscherbetten in der Berninagruppe werden sehr wahrscheinlich in der Reichweite von möglichen Felsstürzen und Eislawinen liegen, wie dies Auslaufmodellierungen von Eislawinen in dieser Region bestätigen (Frey et al., 2010). Um die Konsequenzen eines möglichen Seeausbruchs im Falle eines Sturzes in die Seen abzuschätzen, wurden die Reichweiten der möglichen Flutwellen von den vordersten Seen im Roseg- und im Morteratschtal nach Huggel et al. (2003) berechnet. Dazu wurde angenommen, dass der bestehende See im Rosegtal ausbrechen wird. Für das Morteratschgebiet wurde angenommen, dass der vorderste potenzielle See (modelliertes Volumen ca 1.3 Mio. m<sup>3</sup>) ausbrechen könnte. Diese Modellresultate ermöglichen eine erste Abschätzung der Reichweiten der möglichen Flutwellen resp. Murgänge (Fig. 68), wobei die Abflussmengen und somit die Überflutungshöhen noch nicht berücksichtigt resp. dargestellt wurden.



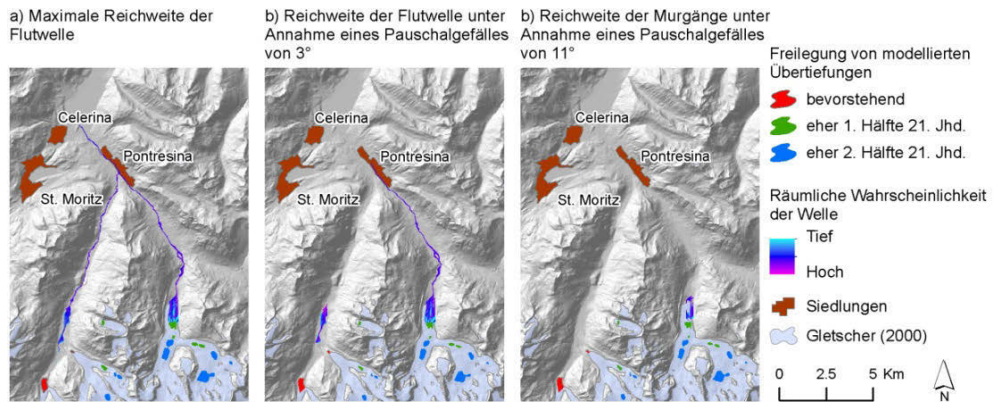


Fig. 68: Vergleich der verschiedenen Szenarien für Murgang (c) und Flutwelle (a, b). Dargestellt sind die maximalen Reichweiten sowie die Reichweiten, die unter Annahme von empirisch erhobenen Pauschalgefällen erreicht werden (Gletscherseen: Andreas Linsbauer, Geographisches Institut UZH; Gletscher: Schweizer Gletscherinventar 2000); Karte reproduziert mit der Bewilligung von swisstopo (BA110005).

Im Rahmen einer Feldbegehung vom 21./22. Juni 2011<sup>19</sup> wurde das Szenario (Fig. 68 a) einer Flutwelle aus dem erwarteten See im Morteratschgebiet genauer analysiert. Dabei wurde das Gerinne der Flüsse auf mögliche Verklausungs- und Ausbruchsstellen untersucht (siehe Tab. 22). Anschliessend wurde die Überschwemmungsfläche aufgrund des Geländes abgeschätzt (Fig. 69). Dabei wurde von zwei Szenarien ausgegangen: Ausbruch des gesamten Seenvolumens (1.3 Mio. m<sup>3</sup>) und Ausbruch des halben Sees (0.7 Mio. m<sup>3</sup>). Da der See hinter einem Felsriegel zu liegen kommen wird, wurde für die Abschätzung der Spitzenabflüsse die Formel  $Q_{\max} = V/t$  von Haeberli (1983) angewandt, wobei gilt:  $Q_{\max}$  = max. Spitzenabfluss,  $V$  = Ausbruchsvolumen und  $t$  = Ausbruchsdauer. Bei einer angenommenen Ausbruchsdauer  $t = 1'000$  s wurden extrem mögliche Spitzenabflüsse von 1'340 m<sup>3</sup>/s respektive 700 m<sup>3</sup>/s berechnet, was eher einem oberen Schätzungsbereich für ein plötzliches und massives Ereignis (Schwall nach grossem Sturz) entspricht.

Aufgrund der geringen Neigung des Geländes ist anzunehmen, dass nach Rückzug des Morteratsch- und des Roseggletschers Sediment auf den ehemaligen Gletscherbetten abgelagert wird und die beiden genannten Seen zumindest teilweise im Moränenmaterial liegen werden. Zudem ist in den heutigen Gletschervorfeldern

<sup>19</sup> Begehung Pontresina: Martin Aebli (Gemeindepräsident), Fritz Hagmann (Vizepräsident), Jan Steiner (Tourismusdirektor).

bereits eine beträchtliche Menge Sediment vorhanden, die mobilisiert werden kann. Deshalb müssen verschiedene Szenarien analysiert werden, abhängig vom Geschiebeanteil der Welle. Fig. 68 gibt einen Überblick über die möglichen räumlichen Auftretensszenarien. Daraus ist ersichtlich, dass aufgrund der geringen Neigung der heutigen Gletschervorfelder keine Murgänge entstehen werden oder dass sie nach wenigen Metern wieder stoppen (c). Das mitgeführte Wasser kann aber in Form einer Flutwelle oder eines stark erhöhten Abflusses weiter ins Tal fließen und möglicherweise weiter unten erneut Geschiebe mobilisieren. Falls dies geschieht, kann die Einwirkung auf Gebäude und Infrastruktur massiver sein, als dies bei einer Flutwelle der Fall wäre. Ebenfalls aus Fig. 68 ersichtlich ist, dass vor allem eine Flutwelle aus dem Morteratschtal bis zum besiedelten Gebiet vordringen und unter ungünstigen Verhältnissen bis Pontresina schadenswirksam sein könnte (b). Es kann zudem davon ausgegangen werden, dass das Ereignis auch weiter unten im Tal spürbar wäre (a). In der weiteren Interpretation wird deshalb hauptsächlich der Fall mit der grössten Reichweite berücksichtigt (a).

Fig. 68 zeigt, dass sich die modellierten Ereignisse stark auf die Hauptläufe der Flüsse beschränken. Eine genauere Analyse vor Ort (Fig. 69) ergibt jedoch, dass einige Wohngebiete von Pontresina (Surovas und die vordersten Häuser in Muragls) durchaus von einer Flutwelle aus dem Morteratschgebiet betroffen sein können. Im Falle des Szenarios  $1'340 \text{ m}^3/\text{s}$  vermag zudem nicht mehr der gesamte Abfluss durch die Schlucht in Pontresina abgeführt werden, allerdings ist das Schadenpotenzial im betroffenen Bereich minim. Die anderen Quartiere in Pontresina liegen erhöht und befinden sich ausserhalb des Gefahrenbereichs. Aufgrund des kleinen Gefälles des Talbodens im Oberengadin wird eine Flutwelle die Gemeinden Celerina und Samedan mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht tangieren. Zudem kann davon ausgegangen werden, dass der Spitzenabfluss der Hochwasserwelle sich mit zunehmender Lauflänge abschwächt. Speziell erwähnenswert ist dabei die Umleitung und Aufweitung der Flaz im Gebiet Samedan, die auf ein 100-jährliches Überschwemmungsereignis mit Spitzenabflüssen von  $280 \text{ m}^3/\text{s}$  dimensioniert wurde (mündliche Aussage F. Keller, 21. Juni 2011). Da dieser Kanal aber nicht ausreicht, um die für einen schlimmsten Fall berechneten Spitzenabflüsse abzuführen, muss davon ausgegangen werden, dass Teile des Flughafenareals (Überlaufvolumen von  $2.4 \text{ Mio. m}^3$ ) überflutet würden.



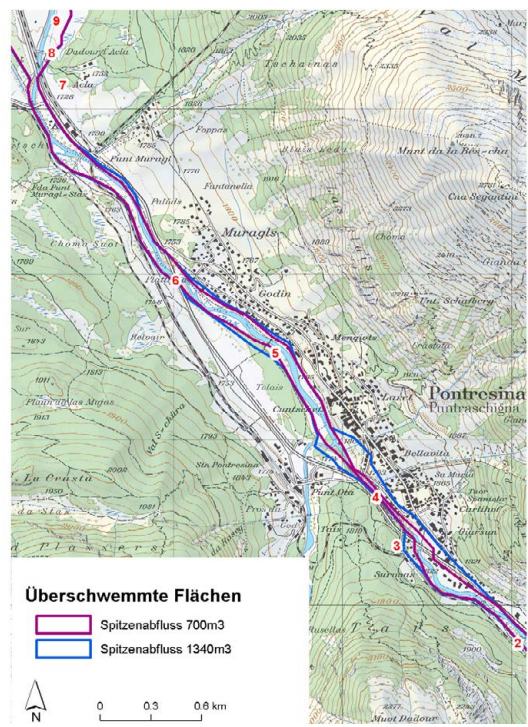


Fig. 69: Überschwemmte Gebiete in Pontresina im Falle eines Ausbruchs des erwarteten Sees in Morteratsch. Die Zahlen bezeichnen die im Feld analysierten Orte (siehe Tab. 22). Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA110005).

Tab. 22: Detailbeschreibung der am 22. Juni 2011 vor Ort analysierten Stellen. \* Die Nummern sind in der Karte in Fig. 69 dargestellt.

Nr*	Objekt	Gerinne- querschnitt [m²]	Fliegsge- schwindig- keit [m/s]	Fluss- tiefe [m]	Durchfluss- kapazität [m³/s]	Überschussszenario	
						700 m³/s	1'340 m³/s
1	Eisenbahnbrücke Morteratsch	120	4	0.5	520	180	820
2	Resgia	63	2	0.5	150	550	1'190
3	Surovas	30	2	0.5	90	610	1'250
4	Kluft Pontresina	175	4	?	700	-	640
5	Tolais	60	2	0.5	140	560	1'200
6	Plattignas	60	2	0.5	140	560	1'200
7	Brücke	130	2	0.5	280	420	1'060
8	Strassen- und Eisenbahn- brücken	260	2	0.5	560	140	780
9	Damm	130	2	0.5	280	420	1'060

In der nachfolgenden Analyse des Schadenpotenzials wird bezüglich der Sachschäden die vereinfachte Annahme getroffen, es gäbe in Zukunft keine Veränderungen der Infrastruktur. Da die Pisten auf dem Flughafen keine Infiltration zulassen, wurde von keinen direkten Schäden ausgegangen. Allerdings müsste der Flugbetrieb zeitweise eingestellt werden. Gemäss den Modellierungen wären unter Annahme der heutigen Siedlung und Infrastruktur die in Tab. 23 aufgelisteten Objekte betroffen. Die Verbindung ins Puschlav und die Bernina-Express-Bahnlinie könnten temporär unpassierbar werden.

Tab. 23: Schadenpotenzial im heutigen Zustand unter Annahme der maximalen Reichweite der Flutwelle. Die Abschätzung von Schäden verursacht durch eine mögliche Flutwelle aus dem Rosegtal basiert auf den Modellierungen. Für die Abschätzung von Schäden verursacht durch eine Flutwelle aus dem Morteratschtal wurden im Rahmen der Feldbegehung im Juni 2011 auch die Abflussmengen abgeschätzt und die Überflutungshöhe berücksichtigt. \* Die Werte und Objektkategorien basieren auf EconoMe (BAFU, 2008).

Objekt*	Wert*	Roseg (Modellierung)		Morteratsch (Feldbegehung)			
		betroffen	Gesamtwert in CHF	betroffen		Gesamtwert in CHF	
				700 m <sup>3</sup> /s	1'340 m <sup>3</sup> /s	700 m <sup>3</sup> /s	1'340 m <sup>3</sup> /s
<b>Eisenbahn</b>	6'300	1'035 m	6'520'500	7'790 m	7'934 m	49'077'000	49'984'200
<b>Eisenbahnbrücken</b>	280'000	2	560'000	4	4	1'120'000	1'120'000
<b>Gebäude</b>	650'000	5	3'250'000	33	71	21'450'000	46'150'000
<b>Bahnhof</b>	179'000	-	-	1	1	179'000	179'000
<b>Hotel</b>	323'000	-	-	1	1	323'000	323'000
<b>Kantonsstrasse</b>	4'100	1'143 m	4'686'300	2'893 m	3'508 m	11'861'300	14'382'800
<b>Gemeindestrasse</b>	2'300	2'803 m	6'446'900	269 m	743 m	618'700	1'708'900
<b>Fahrweg</b>	700	235 m	164'500	745 m	908 m	521'500	635'600
<b>Feldweg</b>	500	5'134 m	2'567'000	9'930 m	9'992 m	4'965'000	4'996'000
<b>Wanderweg</b>	200	9'577 m	1'915'400	9'778 m	11'968 m	1'955'600	2'393'600
<b>Brücken Kantonsstrassen</b>	36'000	4	144'000	5	6	180'000	216'000
<b>Brücken Gemeindestrassen</b>	24'000	2	48'000	3	3	72'000	72'000
<b>Brücken Fahrweg</b>	16'000	2	32'000	8	8	128'000	128'000
<b>Total CHF</b>			26'334'600			92'451'100	122'289'100

Es ist somit vor allem an Verkehrsträgern mit Sachschaden zu rechnen. Das Gebiet ist zudem sehr touristisch. Zahlreiche Tagestouristen, Wanderer und Bergsteiger besuchen die attraktiven Landschaften und bewegen sich auf den Wanderwegen, Strassen oder mit der Bahn, die von einer Flutwelle betroffen sein könnten. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass im Oberengadin mit Ausnahme der Siedlungen Surovas und Muragls im Falle eines Seeausbruchs keine enormen Sachschäden, abhängig vom Ausbruchzeitpunkt, wohl aber Personenschäden zu erwarten sind.

## 10.2 Touristisches Potenzial

### 10.2.1 Destination Pontresina

Die Gemeinde Pontresina hat eine Fläche von rund 120 km<sup>2</sup>, wovon vier Fünftel des Gebietes unfruchtbar sind. Das Gemeindegebiet reicht von 1'725 m ü.M. bis auf 4'049 m ü.M. (Piz Bernina) (Pontresina, 2011). Der Ort zählte im September 2011 1'831 Einwohner (Pontresina, 2011; Pontresina Tourismus, 2011). Pontresina nennt sich „Gletscherdorf am Fusse des Piz Bernina und des Piz Palü“.

Bei den Logiernächten sind zwei gegenläufige Tendenzen erkennbar. Die Übernachtungen in den Hotels nahmen seit 2004 stetig zu, hingegen gingen die Logiernächte in der Parahotellerie laufend zurück. Betrachtet man das Gesamttotal der Logiernächte, ist eine Zunahme zu verzeichnen. Es ist auch zu beobachten, dass die Logiernächte im Winter zurückgehen, während die Übernachtungen im Sommer zunehmen (Pontresina Tourismus, 2010). Im Sommer ist jedoch die durchschnittliche Aufenthaltsdauer mit 4 Tagen im Vergleich zum Winter (4.75 Tage) kürzer. Ungefähr die Hälfte der Übernachtungsgäste stammt aus der Schweiz und ein Viertel aus Deutschland; weitere 11 % der Gäste stammen aus Italien. Die 22 Hotels und Pensionen verfügen über knapp 2'200 Betten und generierten von Januar bis Juni 2011 gut 160'000 Logiernächte. Der Ort verfügt über ca. 1'000 Zweitwohnungen (Pontresina Tourismus, 2011).

Tab. 24: Logiernächteentwicklung Pontresina 2004 bis 2009 (Pontresina Tourismus, 2012).

	2010	2009	2008	2007	2006	2005
Hotels	342'333	360'410	358'477	335'603	314'097	322'697
Jugendherbergen	20'978	16'638	17'733	14'655	13'543	13'403
Übrige Parahotellerie	96'914	107'661	109'180	112'905	128'393	143'919
Camping	33'002	40'424	37'647	33'208	34'864	36'326
<b>Gesamttotal</b>	<b>493'227</b>	<b>525'133</b>	<b>523'037</b>	<b>496'371</b>	<b>490'897</b>	<b>516'345</b>

## 10.2.2 Veränderung der Landschaftsattraktivität: Einfluss auf die Nachfrage

Die vorliegenden Einschätzungen erfolgten aufgrund einer Begehung vom 21./22. Juni 2011 mit den beiden Verantwortlichen des Teilprojekts Tourismus, mit drei Personen aus dem Teilprojekt Naturgefahren, dem Teilprojektverantwortlichen für die rechtlichen Aspekte sowie Felix Keller, Leiter des Europäischen Tourismus Institutes (ETI) an der Academia Engiadina.

Von der Bahnstation Morteratsch ausgehend führt ein gut ausgebauter Wanderweg (Gletscherlehrpfad) bis zur Zunge des Gletschers. Entlang dieses Wanderweges stehen Schilder zur Dokumentation des Gletscherrückgangs. In Richtung Bovalhütte hat man durch die Steigung rasch einen Überblick über die Gletscherlandschaft (vgl. Fig. 70). Der Gletscher wirkt durch die freie Sicht imposant und einzigartig, obwohl der Rückzug deutlich bemerkbar ist. Die Einzigartigkeit wird auch durch die verschneite Bergkette im Hintergrund (Piz Palü, Piz Zupo, Piz Bernina etc.) verstärkt. Im Gletschervorfeld, welches seit ca. 100 Jahren eisfrei ist, fasst die Vegetation sukzessive Fuss (Fig. 71). Das Grün lässt die Landschaft vielfältiger erscheinen als beispielsweise in Grindelwald (vgl. Kap. 8). Allerdings wirken auch hier die Seitenmoränen und der mit Geröll bedeckte Teil des Gletscher eher karg und bedrohlich (Fig. 72).



Fig. 70: Blick auf den Morteratschgletscher in Richtung Bovalhütte.



Fig. 71: Sukzession im Gletschervorfeld des Morteratschgletschers.



Fig. 72: Moränenschutt am Morteratschgletscher.

Von der Diavolezza und dem nahegelegenen Munt Pers sind die oberen Bereiche von Morteratsch- und Persgletscher gut erkennbar (Fig. 73). Dort könnten entstehende Gletscherseen durchaus zu einer Kompensation bezüglich der durch den Gletscherrückzug immer karger werdenden Landschaft führen. Zur Attraktivitätssteigerung trägt auch die Bergkette im Hintergrund bei.

Folgende Spuren des Gletscherrückzugs sind auch beim einmaligen Besuch als Tourist gut sichtbar (vgl. Fig. 73):

- Der in den Morteratschgletscher hineinfließende Persgletscher hat sich soweit zurückgezogen, dass fast keine Verbindung mehr besteht. Ein Wasserfall fließt von der Gletscherzunge des Persgletschers zum Morteratschgletscher hinunter.
- Auf der Moränenbastion zwischen Pers- und Morteratschgletscher bildet sich seit einigen Jahren ein kleiner See. Bei Gletscherwanderungen löst dieser See bei den Besuchenden Bewunderung aus.<sup>20</sup> Er wirkt sehr lieblich in dieser steinigen Umgebung.
- Wie von der gegenüberliegenden Seite ist auch von der Diavolezza bzw. mit Blick vom Munt Pers die einsetzende Begrünung unterhalb der Gletscherzunge gut sichtbar.



Fig. 73: Lawinen auf dem Persgletscher (links), kleiner Gletschersee auf der Moränenbastion zwischen Pers- und Morteratschgletscher (Mitte) und Trennung von Morteratsch- und Persgletscher (rechts). Müller/Lehmann, 22.6.2011.

Auf dem Munt Pers wurde wie in Grindelwald eine Bewertung der Atmosphäre nach Schober (1995; vgl. Fig. 18) durch die Experten vorgenommen. Dabei wurden folgende Zeitpunkte bewertet: vor 60 Jahren, 2011 und im Jahr 2030. Fig. 74 zeigt ein ähnliches Bild wie in Grindelwald (Fig. 34). Zu jedem Zeitpunkt wurde die Landschaft mit den Eigenschaften erregend und anziehend eingestuft. Allerdings nähert sich der Wert auf der x-Achse anziehend von 1950 bis 2030 immer mehr in Richtung y-Achse (abnehmende Anziehung). Im Jahr 2011 wird eine Abnahme, für das Jahr 2030 eine leichte Zunahme der erregenden Wirkung empfunden.

---

<sup>20</sup> Bemerkung W. Haeberli: Auf Exkursionen sind die Studierenden des GIUZ immer wieder begeistert von diesem Gletschersee.

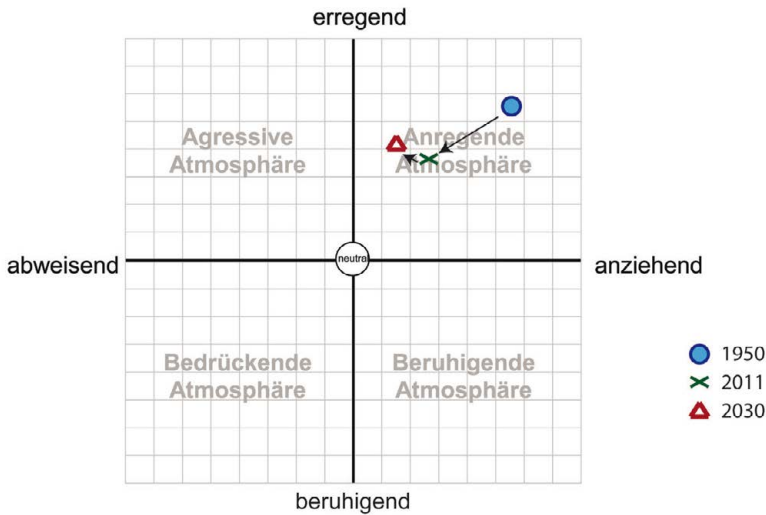


Fig. 74: Bewertung der Veränderung der Atmosphäre „Morteratschgletscher“ (Mittelwerte).

Die Einschätzung einer stärkeren Veränderung von 1950 ins Jahr 2011 hängt mit dem Gletscherrückzug zusammen. Die heutige Landschaft ist immer noch sehr anziehend, aber der schuttfreie Teil des Gletschers ist sehr viel weiter hinten als vor 60 Jahren. Im Vordergrund dominiert daher eine Moränenlandschaft. Bei der Einschätzung einer leichten Zunahme einer erregenden Umgebung von heute in die Zukunft spielt sicher die Möglichkeit entstehender Gletscherseen eine Rolle. Aktuelle Beispiele solcher Gletscherseen, aber auch das Wissen um die Wirkung des Elements Wasser auf den Menschen, können eine Wertsteigerung der Landschaft zu Folge haben. Die negative Entwicklung auf der x-Achse bzw. die Bewertung einer abnehmend anziehenden Wirkung der Atmosphäre steht im Zusammenhang mit der abnehmenden Vielfalt bzw. mit der zunehmenden Wildheit und Kargheit des Landschaftsbildes.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die auf den Besuchenden einwirkenden Umweltreize nach dem Erlebnis-Setting-Ansatz (vgl. Kap. 5.5) durchaus positive Erlebnisse ermöglichen und die Summe dieser Reize – die Atmosphäre – positive Gefühle auslöst.

Das Gebiet Morteratsch eignet sich aus touristischer Sicht sehr gut für einen Besuch des Gletschers oder für eine geführte Tour über den Gletscher. Verkehrstechnisch können die Besuchenden sowohl mit der Berninabahn als auch per Auto zur Station Morteratsch fahren. Von dort führt ein breiter Fussweg mit geringer Steigung zum Gletscher. Durch den Gletscherrückzug wird diese Strecke allerdings immer länger. Der Gletscher hat sich in den letzten zehn Jahren um durchschnitt-

lich 30 m pro Jahr zurückgezogen. Durch den Schmelzprozess entstand im Dezember 2009 eine Gletscherhöhle. Der Eingang wurde präpariert, damit Touristen diese Höhle besuchen konnten. Nach zwei Wochen stürzte die Höhle aber bereits wieder ein (Schweiz aktuell vom 15.09.2010). Dieses Beispiel zeigt, dass zurzeit durch die starken Gletscherveränderungen die Anschauungsmöglichkeiten am Gletscher immer wieder wechseln. Vom heutigen Angebot profitieren Wanderer und Bergsportler: Im Sommer 2011 nahmen über 640 Erwachsene und rund 140 Kinder an den öffentlich geführten Gletscherwanderungen teil. Zusätzlich kamen 554 Erwachsene und 886 Kinder von Privattouren (vor allem Schulklassen, aber auch Vereine) dazu. Zusammen mit den Gletschertrekking-Angeboten verzeichnete Pontresina Tourismus im Zusammenhang mit dem Gletscherbesuch 2'250 Gäste (ohne Hochtouren zum Piz Palü) (Jan Steiner 26.10.2011).

Entstehende Gletscherseen auf dem Morteratschgletscher wären durch das eher flache Gelände gut zugänglich. Durch die beobachtete Zunahme des Bergsports bzw. die wieder steigende Begeisterung für das Wandern könnten diese Gletscherseen zahlreiche Besuchende anziehen. Die Schaffung geeigneter Zugänge zu diesen Seen könnte der Region ein neues, attraktives Angebotsselement beschern. Da das ganze Gebiet nach heutiger Gesetzgebung zum BLN-Perimeter gehört, besteht zwar die Möglichkeit für Massentourismus, jedoch sind Verbauungen nicht möglich (vgl. auch Kap. 10.4).

### 10.2.3 Gefahren/Risiken bei einem Seeausbruch

Das in Kap. 10.1 geschätzte Schadenpotenzial dürfte unter Einbezug einer Flutwelle mit maximaler Reichweite – sowohl aus dem Rosegtal als auch aus dem Morteratschgebiet – zwar im zweistelligen Millionenbereich liegen, im Vergleich mit der Situation in Grindelwald und unter der Annahme eines Maximalszenarios stellt dies aber eine eher bescheidene Summe dar. Aus Tourismussicht würden auch die Kosten der indirekten Schäden eher gering ausfallen, da Pontresina kaum gefährdet wäre und höchstens Teile von Strassen und die Eisenbahnlinie Richtung Bernina überflutet würden. Pontresina wäre aber nicht tagelang von der Umwelt abgeschnitten, wie dies in Grindelwald der Fall wäre.

Trotz des bisher aufgezeigten geringen Schadenpotenzials sollten tertiäre Schäden nicht ausser Acht gelassen werden. Diese „Abschreckungskosten“ könnten für die Zukunft in Pontresina eine wichtige Rolle spielen. Im Vergleich mit anderen Gletschergebieten wird die Landschaft mit den Gletscherseen trotz Gletscherrückzug eher an Attraktivität gewinnen und daher die Anzahl der Besuchenden zunehmen. Ein Ereignis in Form eines Seeausbruchs durch Flutwelle könnte an einem schönen



Tag etliche Menschenleben gefährden, die sich in der Gletscherlandschaft aufhalten. Insbesondere bei Todesopfern fällt die Medienberichterstattung vorwiegend negativ aus und Schuldige werden gesucht. Kurzfristig kann dies zu grossen Nachfrageeinbrüchen führen und später zu negativem Image, welches durch grossen Marketingaufwand wieder verbessert werden müsste (vgl. dazu Weber 2007).

Stand Hochwasser 1987



Fig. 75: Die Flaz fliesst unterhalb von Pontresina (links) und durch die Schlucht unterhalb von Pontresina (rechts). Müller/Lehmann, 21.6.2011.

Mit der Bearbeitung der Kapitel Landschaft und Tourismus wurde im Jahr 2012 begonnen. Daher besteht die Möglichkeit, zukünftige Gletscherseen bereits einzu-beziehen. Allgemein werden gemäss Martin Aebli (Gemeindepräsident Pontresina) bewusst nur wenige zusätzliche Gebiete/Objekte für die touristische Nutzung aus-geschieden (vor allem Talstationen von Bergbahnen). „*Natur- und Kulturland-schaften bilden wichtigste Ressourcen für die Erholung der Bevölkerung und sind Grundlage für die Weiterentwicklung des Tourismus. Noch nicht überall ist eine befriedigende Abstimmung zwischen den Schutz- und Nutzungsinteressen in einzel-nen Gebieten erreicht*“ (Stauffer & Studach 2011b, S. 4).

#### 10.2.4 Fazit aus touristischer Sicht

Das Gletschergebiet Morteratsch ist für den Tourismus gut zugänglich und lockt jedes Jahr viele Interessierte für Wanderungen über den Gletscher sowie für Hoch-gebirgstouren an. Sowohl der Morteratsch- wie auch der Persgletscher ziehen sich aber stark zurück. Deshalb geht ein Teil dieser attraktiven Landschaft verloren. Die neuen Gletscherseen könnten die Landschaft jedoch stark aufwerten. Durch die



leichte Zugänglichkeit bergen diese Seen sogar ein Potenzial, um zur Massenattraktion zu werden, insbesondere dann, wenn über Nutzungen diskutiert würde. Nach heutigem Recht (BLN-Gebiet) sind Nutzungsmöglichkeiten aber kaum oder gar nicht durchsetzbar. Etwas differenzierter sähe es im Fall einer Bedrohungslage durch die Seen aus, wenn Anpassungsmassnahmen erforderlich würden. Aus touristischer Sicht könnte beispielsweise eine erforderliche Schutzmauer als architektonische Attraktivität geplant werden. Im Alpenraum existieren bereits Beispiele von Objekten, die einer abgelegenen Region zu neuem Aufschwung verholfen haben (Bergkirche von Botta in Mogno im Maggital, Paxmal (Friedensmal) von Bickel oberhalb Walenstadts). Solch kombinierte Nutzungen müssten in jedem Fall gut angedacht und geplant werden. Derartige Landschaftsakzente könnten auf der einen Seite die abnehmende Attraktivität durch den Gletscherrückzug aufwerten und zu neuen Anziehungspunkten werden; auf der andern Seite besteht die Gefahr, Touristen in Scharen anzulocken und in der eher unberührten Landschaft Massentourismus zu generieren.

Im Hinblick auf eine Gefahreneindämmung sollte ein Richtplan „Hochgebirge“ in Betracht gezogen werden. Diesbezüglich ist eine Arbeitsgruppe „Siedlungsentwicklung Oberengadin“ damit beschäftigt, ein Raumkonzept zu erstellen und daraus einen neuen regionalen Richtplan zu erarbeiten (vgl. Fig. 76). Dieser Richtplan hat eine enge Verbindung zu Entwicklungskonzepten und zur neuen Regionalpolitik (NRP). Mit dem regionalen Richtplan werden die räumlichen Voraussetzungen zur Umsetzung der Entwicklungsziele geschaffen (Stauffer & Studach 2011a, S. 1).

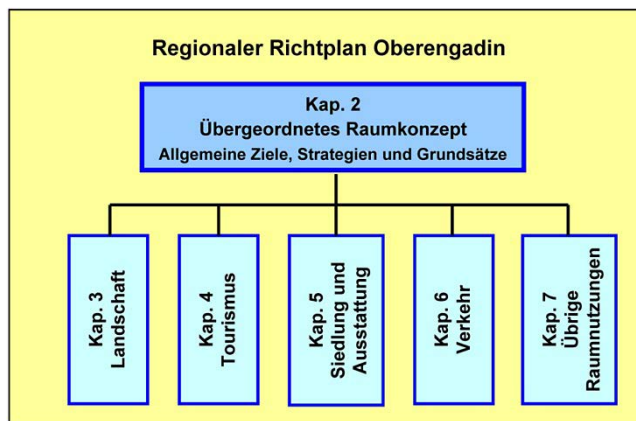


Fig. 76: Kapitel des neuen regionalen Richtplans Oberengadin 2011 (Stauffer & Studach 2011a).

### 10.3 Hydroelektrisches Potenzial

Aus Landschaftsschutzgründen ist eine direkte Nutzung der potenziellen Gletscherseen nach Rückzug des Morteratsch- und des Roseggletschers im grossen Stile kaum denkbar. Falls sich eine Sicherung der entstehenden Gletscherseen durch kontrollierte Überlaufschwelen zur Verhinderung von Flutwellen aufdrängt, kann diese allenfalls für ein Kleinkraftwerk genutzt werden.

### 10.4 Ausgewählte rechtliche Aspekte

- Fels- und Gletschergebiete stehen im Kanton Graubünden im Eigentum der politischen Gemeinden (Art. 664 Abs. 1 Zivilgesetzbuch und Art. 118 des Bündner Einführungsgesetzes zum ZGB). Die Gletschergebiete des Berninamassivs auf der schweizerischen Seite gehören damit je nach Lage den Gemeinden Samedan, Pontresina, Poschiavo, Sils bzw. Stampa i.E.
- Die Oberengadiner Seenlandschaft und Berninagruppe (vom Berninapass bis zum Val Forno) ist als Schutzobjekt Nr. 1'908 im Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN) verzeichnet. Erwähnt wird unter anderem die Bedeutung als schönste Gebirgslandschaft Graubündens mit starker Vergletscherung und mit einzigartigem Seenhochtal ebenso als weltberühmtes Wander- und Tourengebiet. Diese Gletschergebiete sind in besonderem Masse ungeschmälert zu erhalten bzw. grösstmöglich zu schonen (Art. 5 und 6 Natur- und Heimatschutzgesetz).
- Im Raum der Berninagruppe liegen fünf Auengebiete von nationaler Bedeutung, welche im entsprechenden Inventar verzeichnet sind, als Schutzobjekte Nr. 394 Ova da Roseg (Pontresina), Nr. 1'235 Vadret da Roseg (Samedan), Nr. 1'238 Vadret da Morteratsch (Pontresina), Nr. 1'254 Vadret da Palü (Poschiavo) und Nr. 1'348 Plaun Vadret, Val Fex (Sils im Engadin). Weiter zu erwähnen sind die Auengebiete von nationaler Bedeutung weiter westlich, Nr. 1'046 Vadrec del Forno (Stampa) und Nr. 1'231 Vadrec da Fedoz (Stampa). Diese Gletschervorfelder sind als Schutzobjekte ungeschmälert zu erhalten (Art. 4 Abs. 1 Auenverordnung).
- Zu berücksichtigen sind die beiden Flachmoore von nationaler Bedeutung, Schutzobjekte Nr. 2'250 Val Fedox (Stampa) und Nr. 2'257 Val Fex, Alp Suot (Sils im Engadin). Gemäss Art. 4 der Flachmoorverordnung sind die Schutzobjekte ungeschmälert zu erhalten.

- Zu beachten sind die eidgenössischen Jagdbanngebiete, Schutzobjekte Nr. 17 Bernina-Albris (im Val Roseg und Val Morteratsch) und Nr. 19 Campasc (östliche Seite des Berninapasses bzw. der Alp Grüm). Gemäss Art. 6 Abs. 1 der Verordnung über die eidgenössischen Jagdbanngebiete sorgen Bund und Kantone bei der Erfüllung ihrer Aufgaben dafür, dass die Schutzziele der Banngebiete nicht durch andere Nutzungen beeinträchtigt werden. Liegen im Einzelfall andere Interessen vor, ist anhand einer Interessenabwägung zu entscheiden.
- Im Juli 2006 staute sich im Bereich des Vadret da l'Alp Ota (ein Gletscher unterhalb des Piz Murtèl nahe bei der Station Corvatsch) ein Gletscherbach. Dies löste bei schönstem Sommerwetter mit hohen Temperaturen einen Murgang aus, welcher auf einem signalisierten Bergwanderweg eine Wanderin mitriss und tödlich verletzte (NZZ vom 13. Juli 2006, S. 19). Nach einem Unfall stellt sich regelmässig die Frage einer allfälligen Haftung oder Strafbarkeit. Vorliegend dürfte rechtlich von sog. höherer Gewalt auszugehen sein. Ein strafbares Verhalten bzw. eine Haftung von Wanderwegverantwortlichen (z.B. Werkeigentümer) oder anderen Personen ist wegen der fehlenden Vorausssehbarkeit des Ereignisses sehr unwahrscheinlich. Vermutlich wurde die Strafuntersuchung eingestellt.
- Das Berninagebiet ist ein alpinistischer Anziehungspunkt, der mit zahlreichen Unfallereignissen verbunden ist. Ein Beispiel ist der Skihochtourenunfall auf dem Vadret da Roseg vom 12. April 1992. Zwei Bergführer unternahmen mit 11 erfahrenen Teilnehmern eine Skihochtour zum Piz Glüschaint. Nach einem tödlichen Spaltensturz eines Teilnehmers wurden die Bergführer wegen fahrlässiger Tötung (Nichtanseilen als Verletzung der Sorgfaltspflicht) angeklagt und verurteilt (dazu Bütler, 2006, S. 279 ff.).

## 11 FALLSTUDIE OBERHASLI

---

### 11.1 Potentiel hydroélectrique

L'étude du potentiel hydroélectrique de nouveaux lacs est effectuée dans le haut bassin versant de l'Aar (Oberhaslital). Elle se concentre sur les lacs présentant le plus grand volume potentiel, situés sous les glaciers de Gauli et de Trift. Il y a également quelques lacs qui pourraient apparaître avec le recul du glacier d'Unteraar, mais leur potentiel hydroélectrique est moins intéressant par la proximité de la retenue du Grimsel et son projet de surélévation dans le cadre de KWOplus.

#### 11.1.1 Description du bassin versant avec les aménagements existants

La zone d'étude se situe dans la partie haute du bassin versant de l'Aar, dans le canton de Berne. Les Kraftwerke Oberhasli (KWO) exploitent dans cette région un aménagement hydroélectrique depuis 1932. Ce dernier a été construit et adapté en plusieurs étapes, ce qui en fait aujourd'hui un des aménagements les plus complexes au monde.

La surface incluse dans la concession (Fig. 77) est de  $462.5 \text{ km}^2$ , dont  $361 \text{ km}^2$  sont exploités pour la force hydraulique (Tab. 25). Une partie importante de la surface,  $112 \text{ km}^2$ , est recouverte de glaciers, ce qui produit des apports importants durant l'été. Sur les apports annuels moyens de  $700 \text{ hm}^3/\text{an}$ , les lacs du Grimsel, d'Oberaar, de Räterichsboden et de Gelmer permettent le stockage de  $190 \text{ hm}^3$ .

La production d'énergie annuelle moyenne de  $2'350 \text{ GWh/an}$  est effectuée dans 9 centrales dont la puissance totale est de  $1'125 \text{ MW}$  en turbinage et  $424 \text{ MW}$  en pompage.

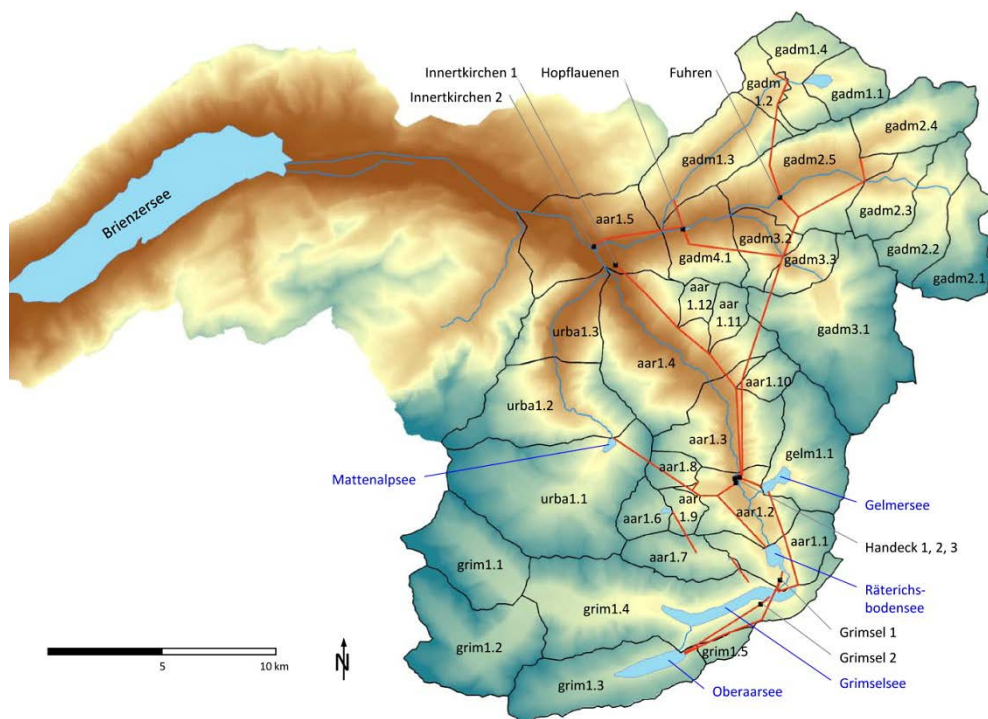


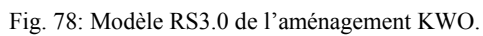
Fig. 77: Aménagement des KWO et noms des bassins versants utilisés pour le modèle.

### 11.1.2 Calibration et vérification du modèle

Un modèle existant de l'aménagement KWO construit avec l'outil de modélisation Routing System RS3.0 est utilisé comme base (Fig. 78) (Bieri et al., 2010, 2011a, b ; Jordan et al., 2009). Ce modèle est adapté par une modification des bassins versants comprenant des glaciers pour inclure les développements effectués sur le modèle glaciaire et un remplacement des centrales pour qu'elles bénéficient des derniers développements. Un soin particulier est apporté à la modélisation et le calage des glaciers de l'Aar (Oberaar et Unteraar) puisque des mesures de variation d'épaisseur annuelle sont disponibles dans les rapports *Die Gletscher der Schweizer Alpen/The Swiss glaciers* (Glaciological reports, 1881–2009). Pour les autres glaciers des comparaisons entre des cartes topographiques récentes et des versions des années 1980 permettent d'estimer la perte d'épaisseur.

Tab. 25: Surface et proportion glaciaire des bassins versants.

<b>ID bassin versant</b>	<b>Nom du glacier</b>	<b>Surface [km<sup>2</sup>]</b>	<b>Surface glaciaire ~2000</b>
aar01.1	Gärsten	10.31	4.5 %
aar01.2		11.17	-
aar01.3	Wyssenbach	16.03	3.7 %
aar01.4		30.30	-
aar01.5		21.66	-
aar01.6	Gruben	4.34	56.5 %
aar01.7	Bächli	7.72	35.2 %
aar01.8	Ärlen	3.24	25.9 %
aar01.9	-	2.80	7.6 %
aar01.10		3.61	-
aar01.11		3.54	-
aar01.12		2.58	-
gadm1.1	Joch	7.44	11.1 %
gadm1.2		5.03	-
gadm1.3		16.82	-
gadm1.4		10.02	-
gadm2.1	Stei	10.54	59.5 %
gadm2.2	Steilimi	11.87	30.3 %
gadm2.3	Taleggi/Gigli	8.87	6.8 %
gadm2.4	Obertal	12.78	24.6 %
gadm2.5		21.99	-
gadm3.1	Trift	33.36	57.9 %
gadm3.2	Tobiger	6.54	2.7 %
gadm3.3	Tobiger	5.73	1.2 %
gadm4.1	-	11.43	1.3 %
gelml.1	Gelmer/Alpli/Diechter	15.75	27.5 %
grim1.1	Lauteraar	15.55	69.4 %
grim1.2	Finsteraar	22.51	70.3 %
grim1.3	Oberaar	19.37	40.7 %
grim1.4	Unteraar	37.58	24.2 %
grim1.5		2.02	-
urba1.1	Gauli	36.48	51.7 %
urba1.2	Ränfen	21.38	16.5 %
urba1.3		12.15	-
<b>Total</b>		<b>462.5</b>	<b>24.2 %</b>
<b>Exploité pour l'hydroélectricité</b>		<b>361.0</b>	<b>29.8 %</b>



Le calage est effectué sur la période allant du 1.10.1981 au 1.10.2005. Différentes mesures de débits sont disponibles et utilisées pour le calage. Le Tab. 26 résume les 5 mesures utilisées ainsi que les indicateurs de performance obtenus. Excepté la mesure de Trift, ces mesures d'apports sont extrapolées des variations du niveau d'un lac et des volumes d'eau turbinés/pompés, ce qui implique qu'elles contiennent du bruit. Ces mesures ne sont donc pas absolument précises.

Dans le cas d'Oberaar, qui obtient le plus mauvais Nash avec 0.73 (Tab. 26), il y a une forte variation journalière des apports toute l'année (Fig. 79), ce qui provient probablement de l'exploitation en pompage-turbinage. Malgré le mauvais coefficient de Nash, l'allure générale de l'hydrogramme est très bien respectée.

Tab. 26: Résultats du calage.

Endroit mesuré	Bassin versant concernés	Volume	NASH
Oberaar	grim1.3	0.89	0.73
Grimsel	aar1.6, aar1.7, grim1.1, grim1.2, grim1.4, reck2.2	1.00	0.86
Räterichsboden	aar1.1, aar1.8, aar1.9, urba1.1	1.00	0.81
Gelmer	gelm1.1	1.01	0.73
Trift	gadm2.1, gadm2.2, gadm2.3, gadm2.4, gadm3.1, gadm3.3	1.01	0.89



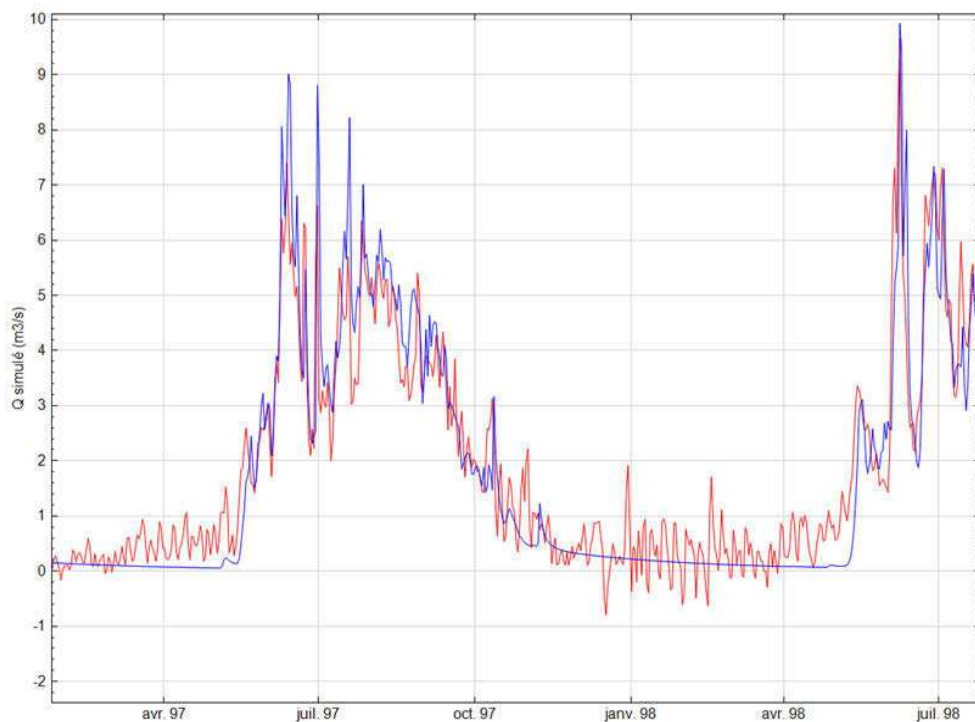


Fig. 79: Variabilité des apports mesurés (rouge) par rapport à ceux simulés (bleu) à Oberaar.

La précision du volume est également à relativiser, puisque dans le cas des apports du lac du Grimsel (Fig. 80), il y a des apports négatifs en hiver. Les importantes variations du débit en hiver ont pour origine le pompage-turbinage. Il est donc normal d'obtenir un peu plus de volume par la simulation.

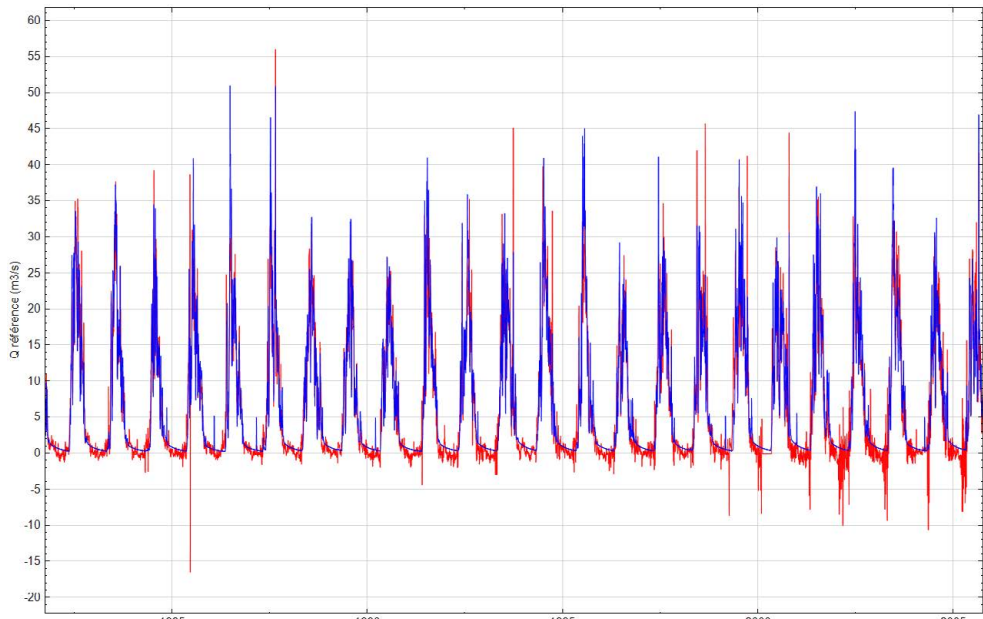


Fig. 80: Comparaison entre les mesures (rouge) et la simulation (bleu) des apports du lac de Grimsel.

### 11.1.3 Potentiel hydroélectrique des nouveaux lacs

Les glaciers de Gauri et de Trift présentent le potentiel le plus intéressant avec l'apparition de grands lacs dans des bassins versants où aucune grande retenue n'existe. Plusieurs retenues de taille moyenne pourraient également apparaître avec le recul du glacier d'Unteraar, mais leur potentiel est moins intéressant puisqu'il se situe dans le même bassin versant que la retenue du Grimsel (dont un projet de surélévation existe dans le cadre de KWOpplus) et que la chute entre ces nouveaux lacs et la retenue du Grimsel est faible.

L'émergence de ces lacs amène deux possibilités pour l'exploitation hydroélectrique: le stockage saisonnier et la possibilité d'effectuer du pompage-turbinage. La première permet de stocker les apports estivaux pour une exploitation hivernale lorsque la demande d'électricité est la plus forte. L'exploitation de ces nouveaux lacs permettrait d'augmenter la capacité de stockage saisonnier (actuellement la capacité des retenues est de 24 % des apports annuels, contre 70 % pour l'aménagement de Mauvoisin), voir d'effectuer un stockage interannuel pour faire face à l'amplification attendue des phénomènes climatiques extrêmes. Associé à une nouvelle centrale, cela permettrait également d'accroître la puissance disponible et de concentrer la production. Il faut néanmoins que les apports annuels (Fig. 81) soient suffisants pour remplir la nouvelle retenue.

La deuxième possibilité, le pompage-turbinage, est un peu moins intéressant dans ce cas, puisque les KWO disposent déjà de la centrale Grimsel 2 avec une puissance de 363 MW et que le projet KWOpplus inclut une nouvelle centrale Grimsel 3 avec une puissance de 600 MW. L'éloignement des lacs ainsi que leur faible dénivellation par rapport aux lacs existants rend également cette option moins attractive.

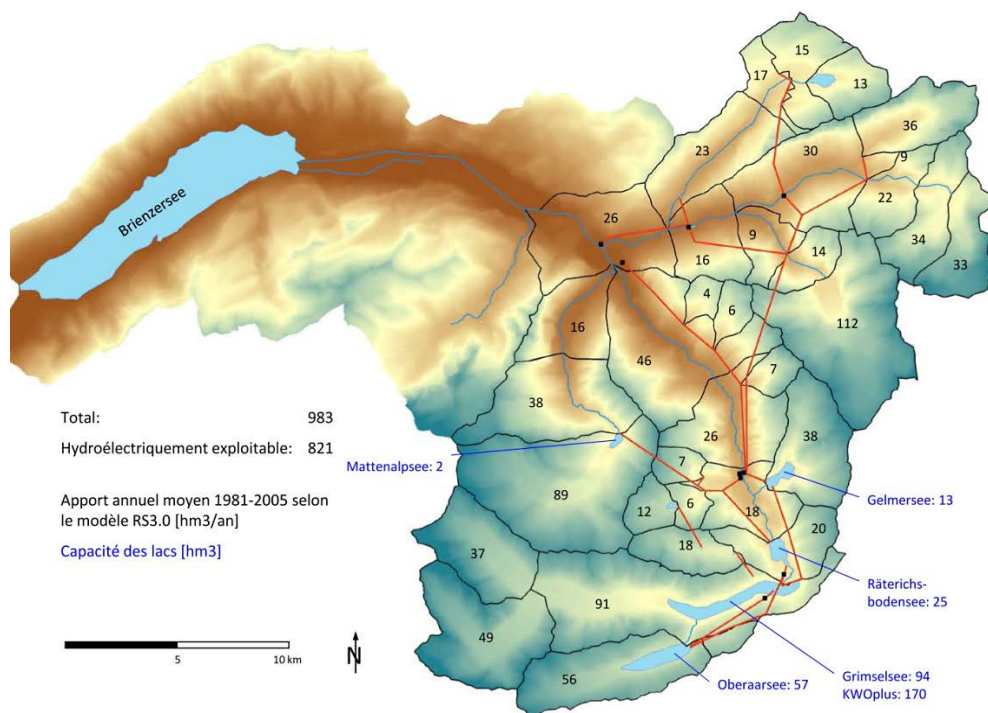


Fig. 81: Apports annuels moyens (1981-2005) pour chaque bassin versant en  $\text{hm}^3/\text{an}$ .

Pour maîtriser le niveau et le déversement du lac naturel en cas de crue, il est probablement nécessaire de construire une petite digue et un organe de vidange. Il est également possible d'accroître le volume du lac par la construction d'un barrage en béton ou d'une digue. Les lacs sur les cartes suivantes sont tous dessinés en considérant de manière raisonnable le plus grand barrage possible (étendue maximale du lac).

### *Lacs de Gauli*

Le retrait du glacier de Gauli a progressivement fait apparaître un nouveau lac depuis les années 1980 à une altitude d'environ 2'150 m s.m. et un autre lac pour-

rait apparaître vers 2050 à une altitude de 2'440 m s.m. (Fig. 82). Pour les différencier, ils sont respectivement nommés Gauli aval et Gauli amont par la suite.

Le lac de Gauli aval présente un volume naturel de 28.5 hm<sup>3</sup> (Fig. 83), mais la construction d'une digue de 40 m permettrait d'augmenter le volume pour atteindre environ 70 hm<sup>3</sup>. La Fig. 84 montre la coupe longitudinale du terrain à l'emplacement où serait construit le barrage.

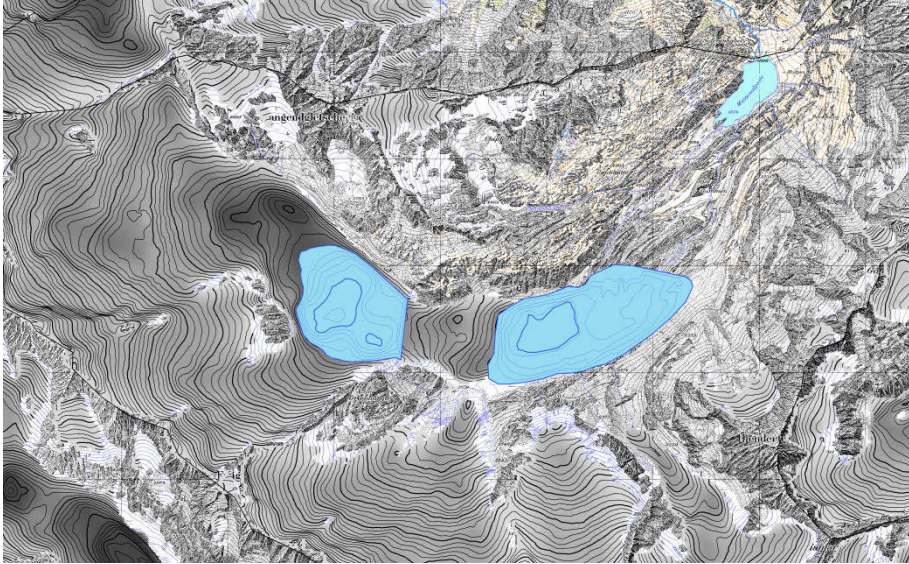


Fig. 82: Emplacement du lac de Gauli amont (à gauche) et Gauli aval (à droite) dans la topographie sans glacier. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA110005).

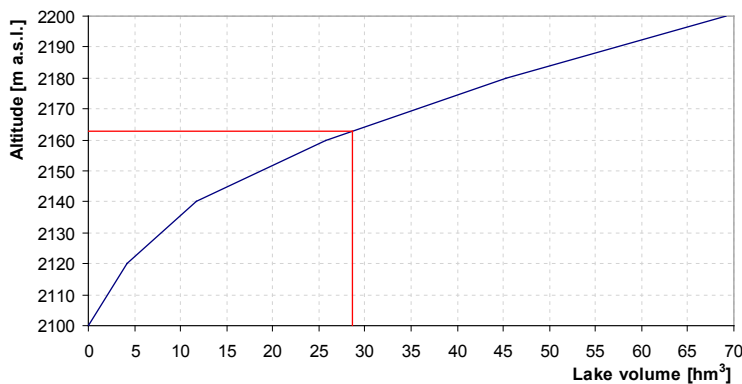


Fig. 83: Relation hauteur-volume du lac de Gauli aval (lac naturel en rouge).

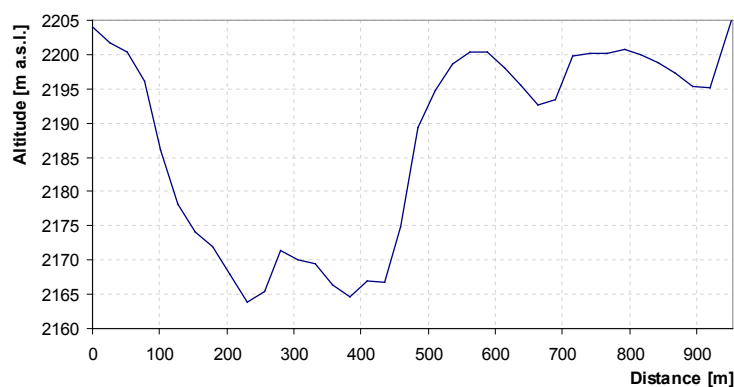


Fig. 84: Forme de la vallée à l’emplacement potentiel du barrage de Gauli aval.

Le lac de Gauli amont a un volume naturel de 12.8 hm<sup>3</sup> (Fig. 85), mais la construction d’une digue de 70 m permettrait d’augmenter le volume pour atteindre environ 55 hm<sup>3</sup>. La Fig. 86 montre la coupe longitudinale du terrain à l’emplacement où serait construit le barrage.

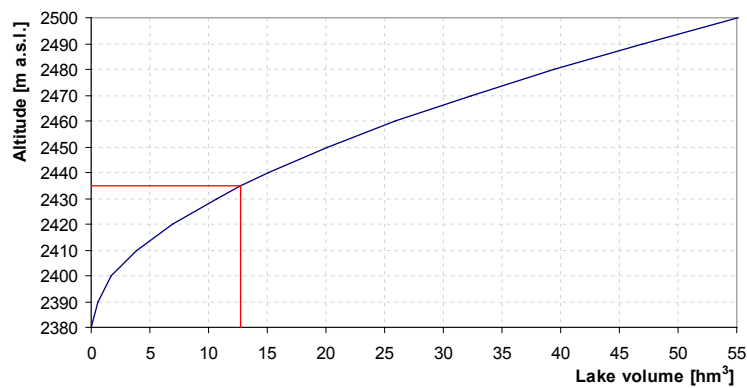


Fig. 85: Relation hauteur-volume du lac de Gauli amont (lac naturel en rouge).

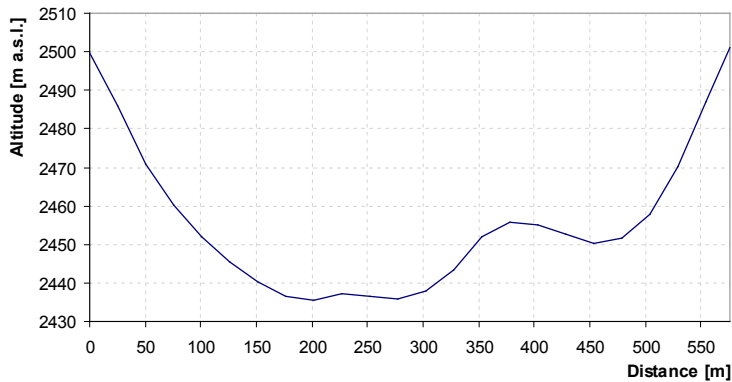


Fig. 86: Forme de la vallée à l'emplacement potentiel du barrage de Gauli amont.

Grâce à ces deux lacs, il existe un potentiel pour stocker  $125 \text{ hm}^3$ , soit largement plus que les  $89 \text{ hm}^3$  d'apports naturels annuels. Plusieurs possibilités sont envisageables:

- Utiliser les lacs avec leur volume naturel.
- Construire une digue pour Gauli aval et laisser Gauli amont naturel, ce qui permettrait de stocker la majorité des apports naturels dans le lac inférieur.
- Construire une digue pour chaque lac afin de constituer un stock saisonnier et interannuel.

Pour ce qui est de l'exploitation, différentes possibilités peuvent être étudiées:

- Ne pas construire de nouvelle centrale et utiliser la dérivation existante depuis Mattenalp. Dans ce cas la chute d'environ 400 m jusqu'à Räterichsboden est perdue.
- Construire un nouveau palier depuis Gauli aval et l'Haslital (probablement Räterichsboden) ce qui permettrait de gagner la chute actuellement perdue entre Gauli aval, le Mattenalpsee et le Räterichsbodensee.
- Construire un palier entre les deux lacs de Gauli, mais cela pose un problème d'accès pour la centrale qui serait située dans la partie supérieure de l'Urbachtal.

### *Trift*

Depuis les années 2000, le retrait du glacier de Trift a fait apparaître un nouveau lac à env. 1'650 m s.m. à l'amont d'une petite gorge (Fig. 87). Ce lac de Trift a un volume naturel d'environ  $16 \text{ hm}^3$  (Fig. 88), mais la construction d'un barrage allant jusqu'à 150 m de hauteur permettrait d'augmenter le volume pour atteindre environ



150 hm<sup>3</sup>. Ce barrage pourrait être construit dès aujourd'hui. La Fig. 89 montre la coupe longitudinale du terrain à l'emplacement où serait construit le barrage.

La capacité de stockage actuelle dans le Gadmental est pratiquement nulle (il est possible de transférer l'eau à Räterichsboden, et par la suite aux autres retenues du Haslital, mais la capacité de stockage n'est déjà pas suffisante par rapport aux apports naturels) et il serait particulièrement intéressant de pouvoir stocker de l'eau à Trift.

Différents scénarios sont envisageables quant au lac:

- Garder le lac naturel et utiliser son volume
- Construire un barrage de 70 m pour avoir un volume de 65 hm<sup>3</sup>, ce qui permet de stocker plus de la moitié des apports naturels
- Construire un important barrage de 150 m pour avoir un important volume de stockage et construire une adduction depuis la partie haute du Gadmental (Steinwasser) pour remplir le lac annuellement.

Du point de vue de l'exploitation les possibilités sont:

- Construire un palier entre le lac de Trift et la prise d'eau de Trift pour exploiter la chute actuellement perdue (env. 300 m).
- Construire un nouveau palier vers Hopflauen ou directement à Innertkirchen si le débit équipé est supérieur à 20–25 m<sup>3</sup>/s.

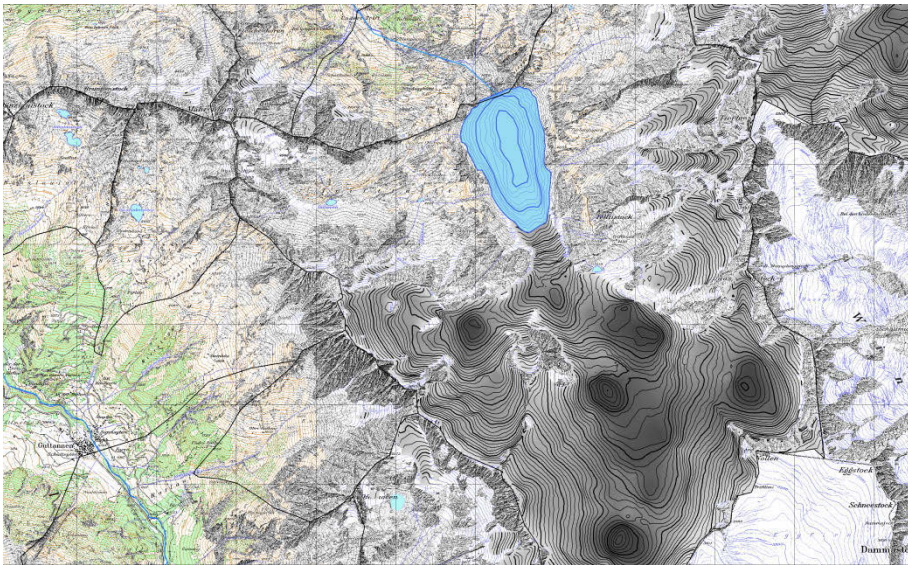


Fig. 87: Emplacement du lac de Trift dans la topographie sans glacier. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA110005).

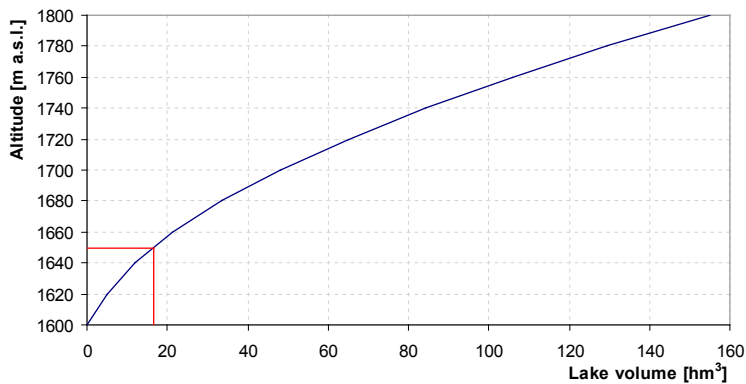


Fig. 88: Relation hauteur-volume du lac de Trift (lac naturel en rouge).

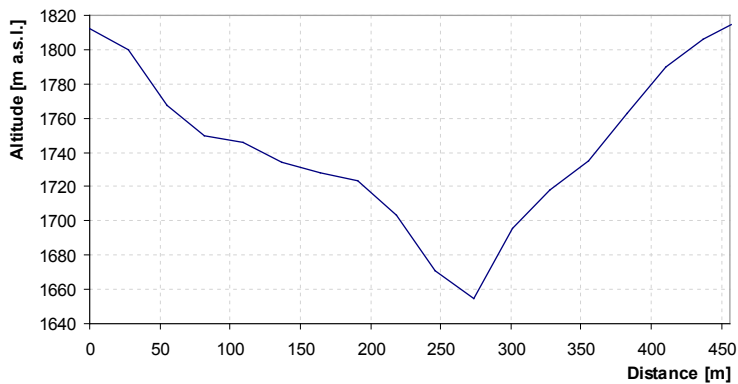


Fig. 89: Forme de la vallée à l'emplacement potentiel du barrage de Trift.

#### 11.1.4 Descriptions des projets futurs

Comme auparavant pour l'étude de Mauvoisin, un taux de change de 1.30 CHF/EUR est utilisé dans la détermination des coûts de construction.

##### *KWOplus*

Le projet KWOplus, dont la construction a en partie déjà commencé, prévoit d'améliorer le rendement de l'aménagement et d'augmenter la production annuelle.

Les 4 parties du projet sont:

- L'augmentation de puissance de 150 MW de la centrale d'Innertkirchen 1, avec la construction d'un nouveau puits blindé et d'un bassin de compensation à l'aval.



- L'augmentation de puissance de 90 MW de la centrale de Handeck 2, avec une nouvelle galerie d'amenée.
- Construction d'une nouvelle centrale de pompage-turbinage Grimsel 3 de 600 MW entre les lacs de Räterichsboden et d'Oberaar.
- Surélévation du lac du Grimsel de 23 m, ce qui augmentera son volume de 95 à 170  $\text{Mio m}^3$ . Cette partie du projet fait actuellement l'objet de plusieurs recours d'organisations écologiques.

Dans cette étude des nouveaux lacs de Gauli et de Trift, le projet KWOpplus est considéré comme intégralement construit dans le futur.

### *Gauli-Räterichsboden*

Il est choisi d'utiliser seulement le lac inférieur avec la construction d'une digue de 45 m pour obtenir un volume de stockage de 60  $\text{hm}^3$ . Cela permet de stocker environ 70 % des apports annuels. Le lac est en grande partie déjà apparent, ce qui signifie que le projet pourrait se concrétiser dans les 10 prochaines années.

La chute depuis Mattenalp jusqu'au Räterichsbodensee n'est actuellement pas exploitée. La création de la retenue de Gauli plus haut dans la vallée est l'occasion de créer un nouveau palier. Le faible dénivelé et la distance avec les retenues existantes rend l'option du pompage-turbinage peut intéressante. Ainsi, seul un simple palier de turbinage est considéré. Il est choisi d'utiliser Räterichsboden comme point aval plutôt que Handeck puisque il est possible d'y stocker de l'eau, ce qui permet une exploitation plus souple. Un plan (Fig. 90) et une coupe (Fig. 91) montrent l'aménagement envisagé.

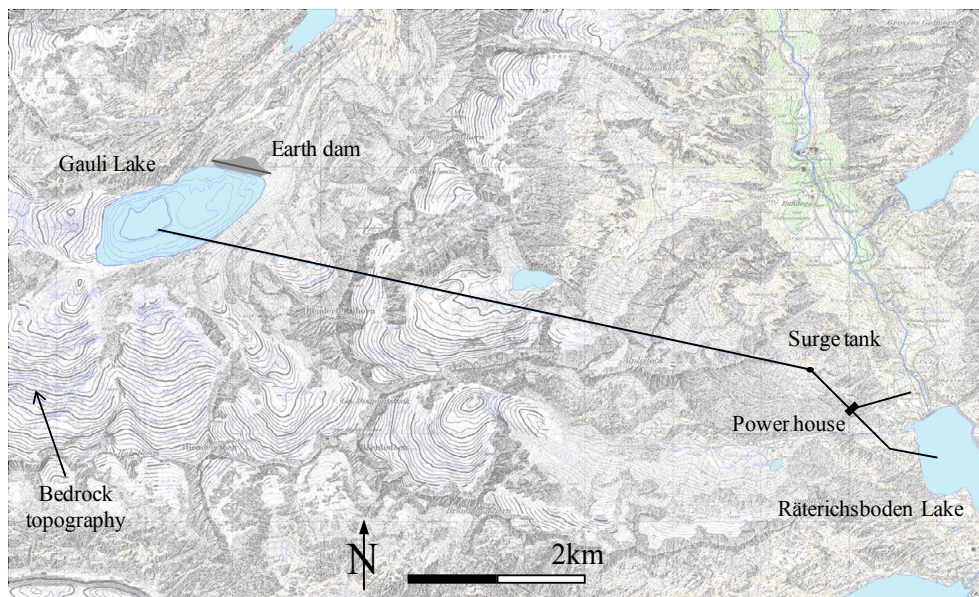


Fig. 90: Plan de l'aménagement de Gauli-Räterichsboden. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA110005).

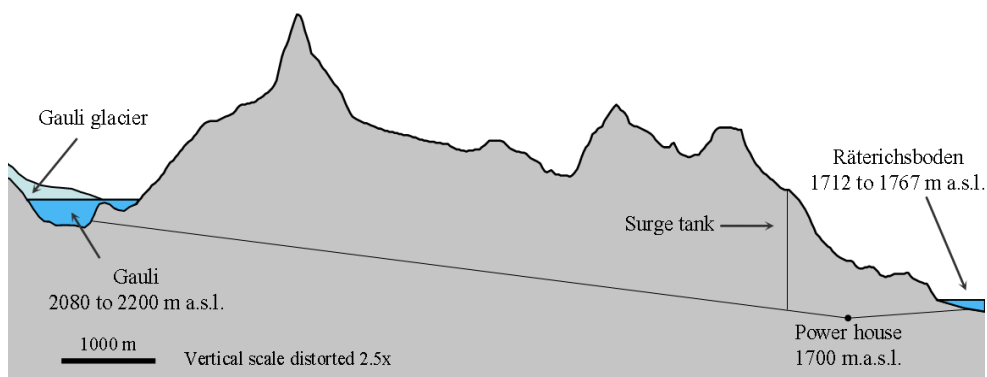


Fig. 91: Profil en long de l'aménagement de Gauli-Räterichsboden.

Le débit équipé est choisi à  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ , ce qui permet une utilisation de la centrale sur 1'200 h/an. Il ne pose pas de problème pour les paliers à l'aval, parce que la retenue de Räterichsboden permet de stocker le volume turbiné sur plusieurs jours. Il faut aussi préciser que ce volume d'eau entre actuellement déjà dans cette retenue, mais avec une répartition annuelle différente. La puissance correspondante est de 84 MW et avec un volume annuel moyen de  $85 \text{ hm}^3/\text{an}$ , une production d'environ 83 GWh/an est à attendre.

Une estimation des coûts de construction est montrée au Tab. 27. La construction de 9.5 km de galerie pour relier les deux lacs engendre un coût très important, dont le détail est donné au Tab. 28. Un diamètre relativement important (4 m) est choisi pour pouvoir utiliser la galerie comme accès à la région de Gauli. En considérant un taux d'intérêt de 5 % et une durée de 50 ans, l'amortissement linéaire est de 13.4 Mio EUR/an. Avec la production attendue de 83 GWh/an, cela donne un prix de revient de 161 EUR/MWh. Ce prix n'est que rarement atteint sur le marché spot, et il est impossible de vendre durant 1'200 h/an à ce prix, raison pour laquelle ce projet n'est plus considéré par la suite.

Tab. 27: Coûts de construction pour l'aménagement de Gauli-Räterichsboden.

Partie	Coûts [Mio EUR]
Préparation et équipement du terrain	0.3
Barrage (Gauli)	31.7
Prise d'eau amont	2.4
Galeries hydrauliques	84.0
Accès centrale	12.7
Centrale	23.0
Turbines	4.8
Machines électriques	7.5
Prise d'eau aval	2.4
Lignes électriques	6.4
Installations de chantier	16.0
Imprévus	17.9
Frais généraux et salaires	35.7
<b>Total</b>	<b>244.5</b>

Tab. 28: Détail du coût de construction des tronçons de galerie hydraulique de l'aménagement de Gauli-Räterichsboden.

Tronçon	Longueur m	Rugosité mm	Diamètre m	Coûts Mio EUR
<u>Lac de Gauli</u>				
Galerie revêtue	7'700	4	4.00	57.49
Puits chambre d'équilibre	525	4	4.00	3.06
Galerie blindée ( $f_y=650$ MPa ; $e=20$ mm)	500	0.2	4.00	8.29
<u>Centrale</u>				
Galerie revêtue	1'300	4	3.00	7.23
<u>Lac de Räterichsboden</u>				
<b>Total galeries hydrauliques</b>	<b>10'025</b>			<b>76.07</b>

### *Gauli-Grimsel*

Une autre possibilité nécessitant un investissement moindre est de relier le lac de Gauli avec la retenue existante du Grimsel. Cela permet de gagner la chute entre Grimsel et Räterichsboden.

La première option (Fig. 92A) est de relier les deux bassins en minimisant les excavations et de laisser l'eau s'écouler par gravité. La liaison dans le bassin versant du Grimsel se ferait à la hauteur de la cabane de Lauteraar, ce qui donne une longueur de 4.5 km. Les coûts de construction sont donnés au Tab. 29. En considérant une chute moyenne de 150 m entre la retenue de Grimsel et celle de Räterichsboden et un volume annuel de 83 Mio m<sup>3</sup>, la production supplémentaire serait d'environ 29 GWh/an, ce qui donne un prix de revient de 62 EUR/MWh.

La deuxième option (Fig. 92 B) est d'allonger un peu le tracé afin d'avoir une chute intéressante pour placer une centrale. En plaçant la centrale proche de l'extrémité de la retenue du Grimsel, le tracé s'allonge à 5.5 km. Les coûts de construction sont donnés au Tab. 30. En considérant une chute de 200 m entre Gauli et Grimsel, une chute moyenne de 150 m entre la retenue de Grimsel et celle de Räterichsboden et un volume annuel de 83 Mio m<sup>3</sup>, la production supplémentaire serait d'environ 64 GWh/an, ce qui donne un prix de revient de 89 EUR/MWh. Le débit équipé est choisi à 20 m<sup>3</sup>/s, ce qui donne une puissance d'environ 30 MW.

Dans les deux cas, il n'est pas économiquement intéressant, avec les prix d'électricité actuels, de construire une digue à Gauli. Seul un ouvrage permettant le contrôle du déversement est envisagé.

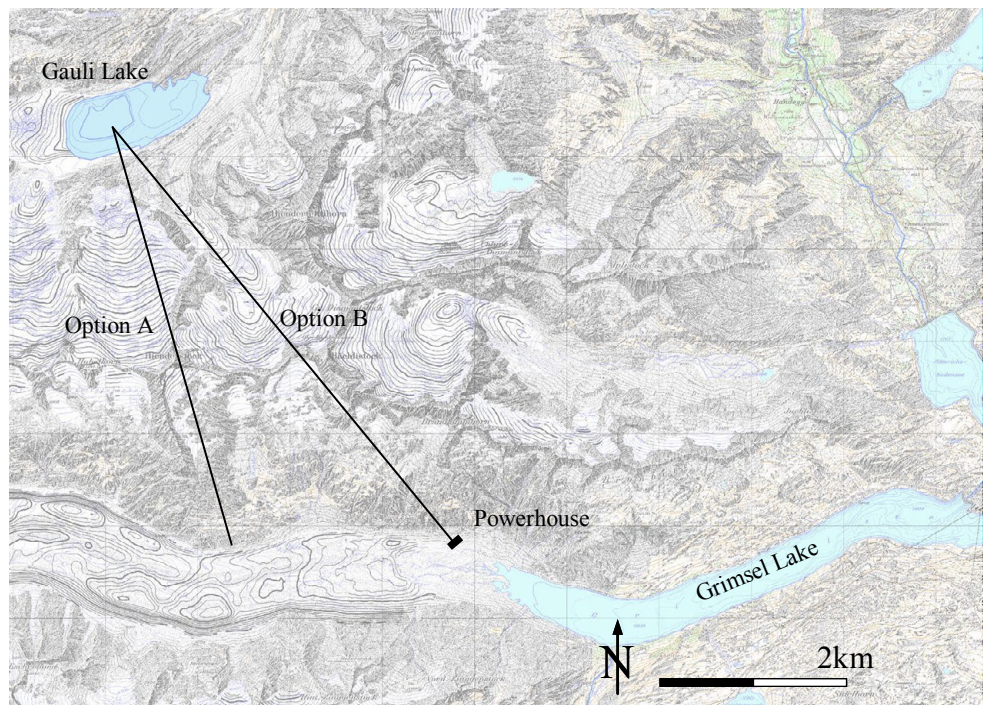


Fig. 92: Plan de l'aménagement Gauli-Grimsel. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA110005).

Tab. 29: Coûts de construction pour la variante A (Fig. 92) de l'aménagement Gauli-Grimsel.

Partie	Coûts [Mio EUR]
Barrage (Gauli)	1.0
Prise d'eau amont	1.0
Galeries hydrauliques	21.4
Installations de chantier	2.3
Imprévus	2.3
Frais généraux et salaires	4.6
<b>Total</b>	<b>32.6</b>

Tab. 30: Coûts de construction pour la variante B (Fig. 92) de l'aménagement Gault-Grimsel.

Partie	Coûts [Mio EUR]
Préparation et équipement du terrain	0.3
Barrage (Gault)	0.9
Prise d'eau amont	1.1
Galeria hydraulique	29.9
Accès centrale	1.3
Centrale	13.3
Turbine	1.5
Machina électrique	2.4
Prise d'eau aval	1.1
Ligne électrique	2.5
Installation de chantier	5.1
Imprévu	5.8
Fraia généraux et salaria	10.9
<b>Total</b>	<b>76.0</b>

### Trift

Troia altitudia différentia da barraga aont étudiaéa pour la nouvaia lac da Trift: 1'720, 1'760 et 1'800 m s.m.. L'idée est da construire un réaervoir pour produire da l'énergie da pointe et donc d'avoir la capacité da vider la retenue en env. 1'000 h/an. La volumea créa par cea barraga aont réapectivement da 65, 105 et 155 Mo m<sup>3</sup>.

La apporta da baasin veraant naturel ont été da 112 hm<sup>3</sup>/an entre 1981 et 2005. L'adduction da eaua da la Steinwaaser (environ 60 hm<sup>3</sup>/an) est à étudier da point da vue économiue.

Pour un couronnement à 1'720 m s.m., la hauteur da barraga est da 75 m. Un débit équipé da 18 m<sup>3</sup>/a est nécessaire pour vider la volume en 1'000 h/an. Il est choia da placer la centrale à Hopflaunen (Fig. 93 et Fig. 94), ce qui permet da réutiliaer au mieua la système existant. Saia adduction da la Steinwaaser, la débit équipé est choia à 20 m<sup>3</sup>/a (identique à la centrale da Hopflaunen qui utiliae actuellement la eaua venant da Trift et Fuhren), alora qu'avec l'adduction, la débit est augmenté à 25 m<sup>3</sup>/a pour réduire la nombre d'heurea d'exploitation sur l'année. Il n'est pa poaaible d'avoir un débit supérieur aia avoir da pertea d'eau ou aia apporter da modificationa à la centrale d'Innertkirchen II (29 m<sup>3</sup>/a), qui exploite également la eaua da la Gadmerwaaser et da la Gentalwaaser (2 m<sup>3</sup>/a). La système existant (centrale da Hopflaunen et da Fuhren) est conservé pour exploiter la apporta qui ne paient pa par la nouvaia retenue da Trift.



Le deuxième niveau, à 1'760 m s.m. conduit à un barrage de 115 m de haut. Pour le vider en 1'000 h/an il faut un débit équipé d'environ 30 m<sup>3</sup>/s. Avec un tel débit, il n'est pas possible de lier la nouvelle centrale au système existant et il est choisi de la placer à Innertkirchen (Fig. 93 et Fig. 95). En considérant l'adduction de la Steinwasser, le débit équipé est augmenté à 40 m<sup>3</sup>/s. Un bassin de compensation est créé dans les deux cas pour réduire le marnage dans l'Aar.

Finalement, la variante avec un barrage de 155 m est analogue à la deuxième avec une centrale à Innertkirchen. Dans ce cas l'adduction de la Steinwasser est indispensable pour remplir la retenue.

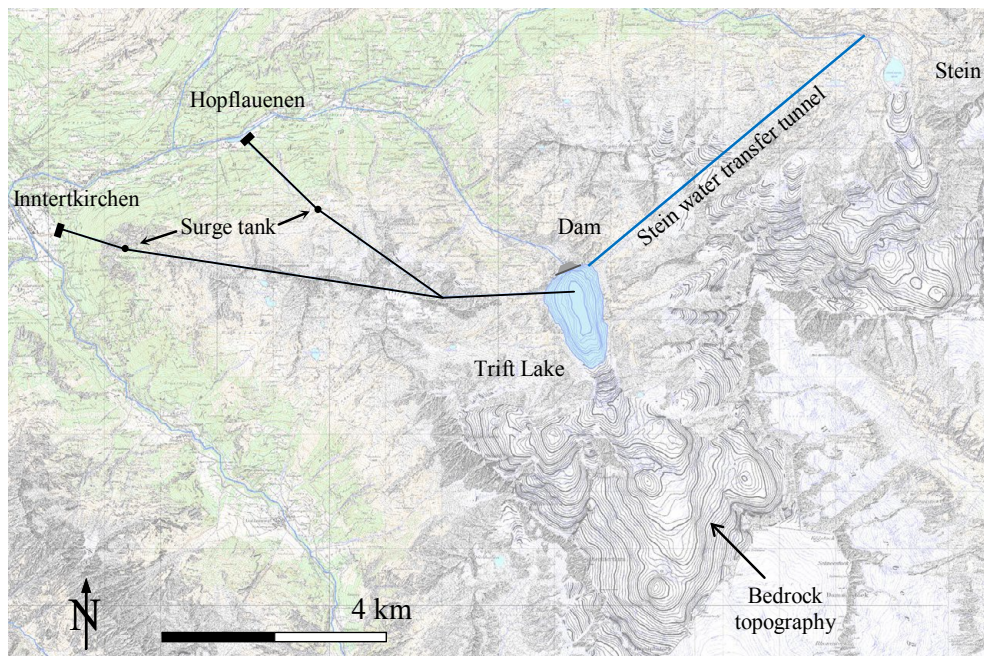


Fig. 93: Plan de l'aménagement de Trift. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA110005).

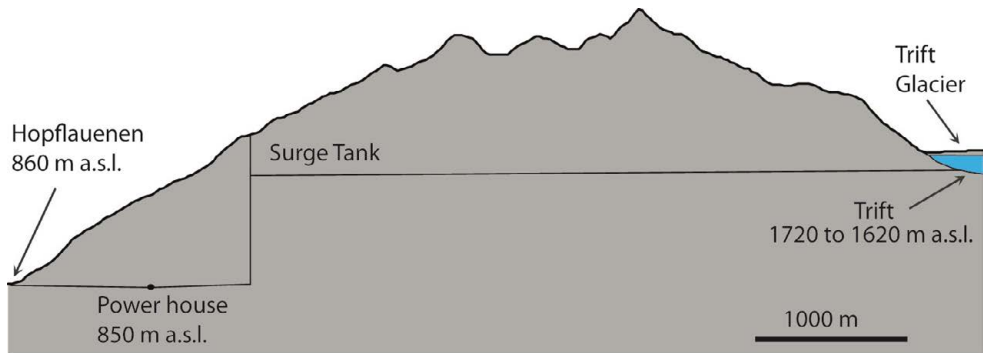


Fig. 94: Profil en long – variante Trift-Hopflauen.

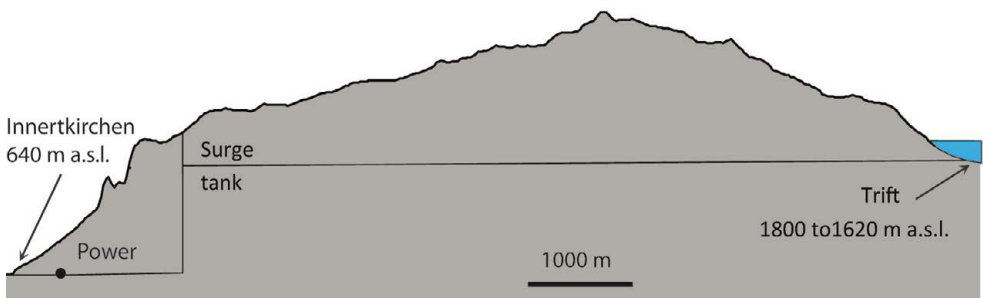


Fig. 95: Profil en long – variante Trift-Innertkirchen.

Le Tab. 31 résume les principales caractéristiques des variantes étudiées et leur analyse économique. Le calcul de la production tient compte de:

- Une chute moyenne
- Des pertes de charges selon le diamètre et la rugosité des galeries
- Un rendement des groupes electro-mécaniques de 85 %
- Un volume d'eau annuel de 105 hm<sup>3</sup>/an pour Trift et 60 hm<sup>3</sup>/an pour l'adduction.

La production totale donne l'énergie produite annuellement par la centrale, tandis que la production supplémentaire donne la production totale diminuée des pertes de production aux autres centrales (puisqu'elles disposent de moins d'eau pour produire).

Le calcul du prix de revient s'effectue en considérant un taux d'intérêt de 5 % avec un amortissement linéaire sur 50 ans, ainsi que des charges d'exploitation de 2 % du coût de construction. Deux prix de revient sont donnés. Le premier considère seulement le supplément produit par rapport à la situation actuelle, tandis que le second considère toute la production de la centrale et ne tient pas compte de la



production perdue du système existant. La deuxième option peut être justifiée par le fait que les centrales existantes de Hopflauen et d'Innertkirchen ont été construites dans les années 1960 et qu'elles sont probablement déjà amorties.

De la comparaison des 5 variantes, il ressort que celle avec un barrage à un niveau d'exploitation de 1'720 m s.m. et l'adduction, a avec 62 EUR/MWh le prix de revient le plus faible. Mais c'est également celle qui a le plus grand nombre d'heures d'exploitation et il n'est pas garanti d'avoir des prix suffisamment élevés durant 1'833 h/an. En conséquent, la variante avec un couronnement à 1'760 m s.m. et l'adduction est la plus intéressante puisqu'elle dispose d'un plus grand volume de stockage et d'un temps d'exploitation plus réduit. Cette variante est choisie et modélisée dans le modèle RS3.0.

Tab. 31: Caractéristiques et coûts des variantes de l'aménagement de Trift. La variante la plus intéressante (en gras) a été choisie pour la simulation avec RS3.0.

Couronnement du barrage de Trift	m s.m.	1720	1720	1760	<b>1760</b>	1800
Volume de la retenue	Mio m <sup>3</sup>	65	65	105	<b>105</b>	155
Adduction Steinwasser	-	non	oui	non	<b>oui</b>	oui
Centrale	-	Hopf.	Hopf.	Innertk.	<b>Innertk.</b>	Innertk.
Débit équipé	m <sup>3</sup> /s	20	25	30	<b>40</b>	40
Puissance	MW	169	211	330	<b>440</b>	455
Utilisation annuelle	h/an	1'458	1'833	972	<b>1'146</b>	1'146
Production totale nouveau palier	GWh/an	205	325	267	<b>420</b>	435
Production supplémentaire par rapport aux paliers actuels	GWh/an	108	171	125	<b>196</b>	211
Préparation et équipement du terrain	Mio EUR	4.7	4.7	4.7	<b>4.7</b>	4.7
Barrage	Mio EUR	22.3	22.3	87.9	<b>87.9</b>	194.7
Prise d'eau amont	Mio EUR	1.6	2.2	2.2	<b>2.7</b>	2.7
Adduction	Mio EUR	0.0	28.0	0.0	<b>28.0</b>	28.0
Galeries hydrauliques	Mio EUR	54.3	64.5	87.5	<b>99.5</b>	99.5
Chambre d'équilibre	Mio EUR	2.3	2.3	2.3	<b>2.3</b>	2.3
Accès centrale	Mio EUR	14.3	14.3	8.6	<b>8.6</b>	8.6
Centrale	Mio EUR	23.0	23.0	23.0	<b>23.0</b>	23.0
Turbines	Mio EUR	9.5	12.0	18.6	<b>24.8</b>	25.7
Machines électriques	Mio EUR	15.1	18.9	29.4	<b>39.2</b>	40.6
Prise d'eau aval	Mio EUR	1.6	2.2	2.2	<b>2.7</b>	2.7
Bassin de compensation	Mio EUR	0.0	0.0	17.7	<b>22.1</b>	22.1
Lignes électriques	Mio EUR	3.5	3.5	3.5	<b>3.5</b>	3.5
Installations de chantier	Mio EUR	12.4	16.4	23.6	<b>28.2</b>	38.8
Imprévus	Mio EUR	15.2	19.8	28.8	<b>34.9</b>	45.8
Frais généraux et salaires	Mio EUR	30.5	34.0	54.0	<b>59.8</b>	81.6
Total	Mio EUR	210	268	394	<b>472</b>	624
Prix de revient (calcul avec production supplémentaire)	EUR/MWh	146	117	236	<b>180</b>	221
Prix de revient (calcul avec production totale)	EUR/MWh	77	62	110	<b>84</b>	107

### 11.1.5 Analyse des scénarios climatiques – évolution des glaciers

Tous les glaciers ne sont pas détaillés ici. Seuls les résultats des langues de quelques glaciers sont présentés. De manière générale, l'évolution des bandes selon les scénarios climatiques est similaire au glacier de Corbassière étudié pour le bassin versant de Mauvoisin. Les scénarios de réchauffement (ETHZ et +4°) voient les glaciers fondre très rapidement, le scénario de référence donne une fonte plus modérée, alors qu'un refroidissement (-2°) conduit à une fonte suivie par un gain de masse à la fin du 21<sup>e</sup> siècle.

Une particularité des 30 ans de mesures météo utilisées pour construire les scénarios climatiques est que les deux années les plus froides sont consécutives (1980 et 1981). Un ralentissement ou une irrégularité de la fonte glaciaire apparaît durant les années basées sur 1980–1981. Il s'agit des années 2010–2011, 2021–2022 et 2070–2071, où le climat (température et précipitation) de a été généré en appliquant des facteurs de correction sur les valeurs mesurées des années 1980 et 1981.

Pour le glacier d'Oberaar (Fig. 96), la langue fond très rapidement parce qu'il n'y a presque plus d'alimentation de la langue par la partie supérieure du glacier. Dans le scénario de refroidissement la bande à 2'620 m s.m. se stabilise puis se met à croître dans les années 2030. Cette onde de croissance apparaît à la bande inférieure (2'490 m s.m.) par un brusque changement de pente en 2070/71 lors des années froides basées sur 1980/81. A cette période, l'écoulement général de tout le glacier s'accélère.

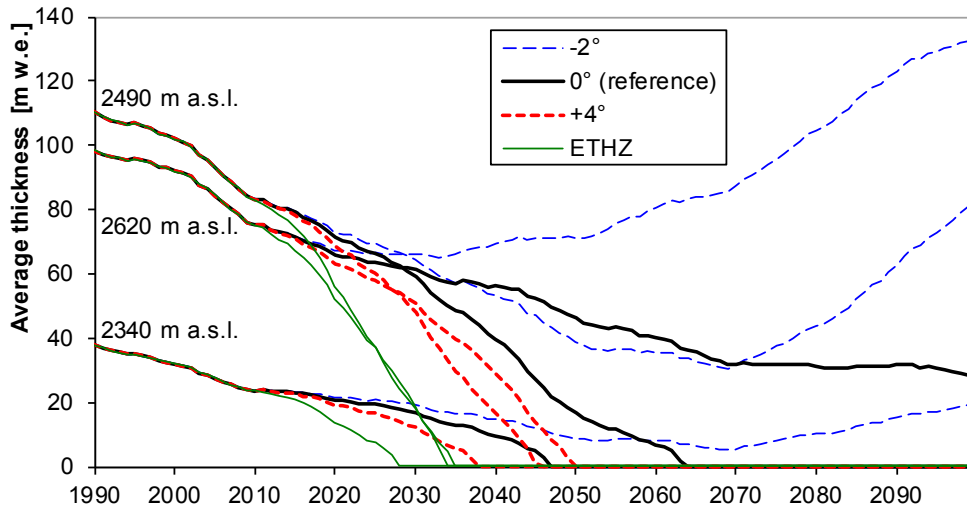


Fig. 96: Evolution des bandes supérieures du glacier d'Oberaar.

Pour le glacier d'Unteraar, Fig. 97, la première bande disparaît très rapidement, suivie de la deuxième quelques décennies plus tard. Pour les deux scénarios de réchauffement, la quatrième bande disparaît quelques années avant la troisième. Cela signifie qu'une masse de glace morte se détache du glacier. Pour le scénario de référence, la fonte est régulière durant tout le 21<sup>e</sup> siècle, alors que pour un refroidissement de  $-2^{\circ}$ , la langue semble se diriger vers une stabilisation.

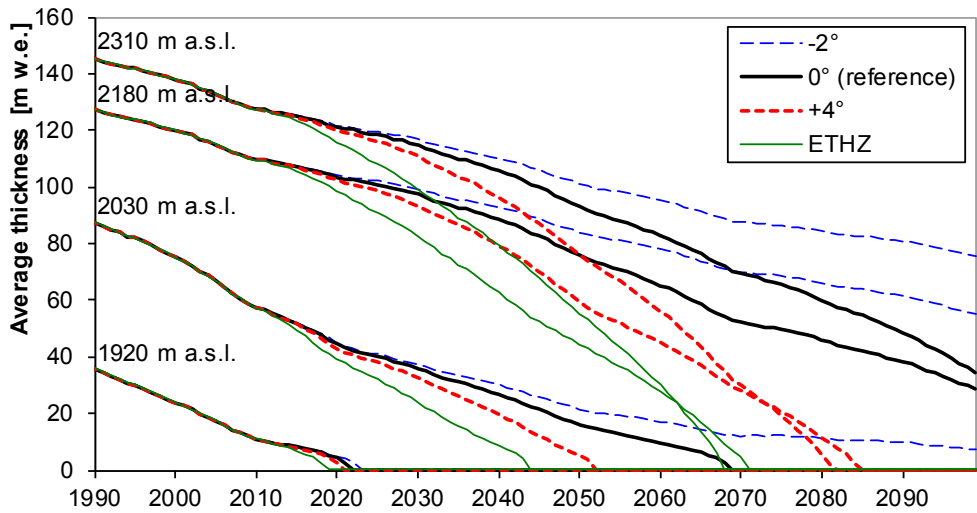


Fig. 97: Evolution des bandes supérieures du glacier d'Unteraar.

Pour le glacier de Gauli, la première bande à 2'210 m s.m. est épaisse et va mettre quelques décennies pour fondre (Fig. 98). La bande située au-dessus est plus fine, puisque située dans un passage raide, et disparaît avant, laissant de la glace morte au pied du passage raide.

Le lac de Gauli aval est déjà apparent depuis quelques années et la langue du glacier subit un recul rapide (550 m entre 2005 et 2010). Le lac de Gauli amont est recouvert par la 3ème bande (2'480 m s.m.) qui disparaît vers 2050 selon le scénario ETHZ.

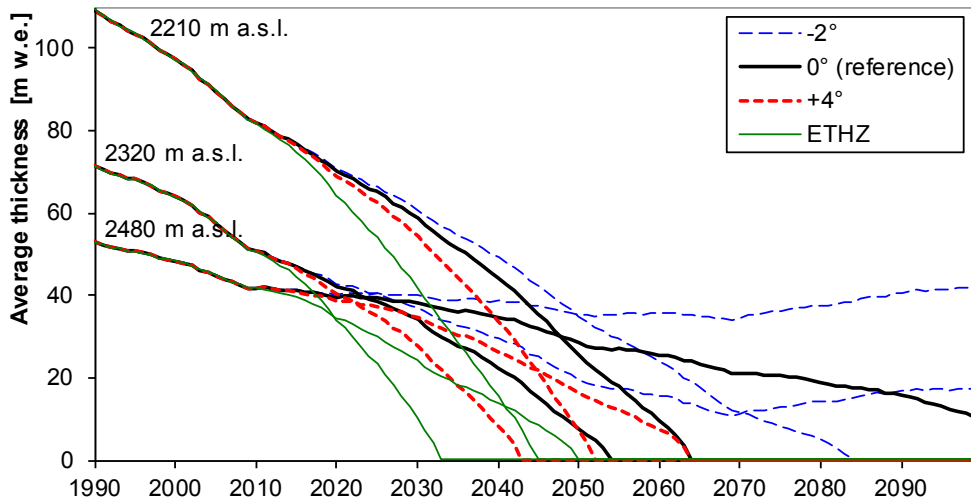


Fig. 98: Evolution des bandes supérieures du glacier de Gauli.

Pour Trift, le nouveau lac est apparent depuis les années 90 et il est aujourd'hui libre de glace.

La Fig. 99 présente l'évolution du volume du glacier d'Unteraar (avec ses affluents Lauteraar et Finsteraar). Le glacier disparaît dans la deuxième moitié du siècle pour les scénarios de réchauffement. Pour le scénario de référence, il ne reste plus que 17 % du volume initial en 2100, alors que le glacier n'est toujours pas équilibré. Pour un refroidissement, il reste 47 % en 2100, avec une tendance à la croissance du glacier.

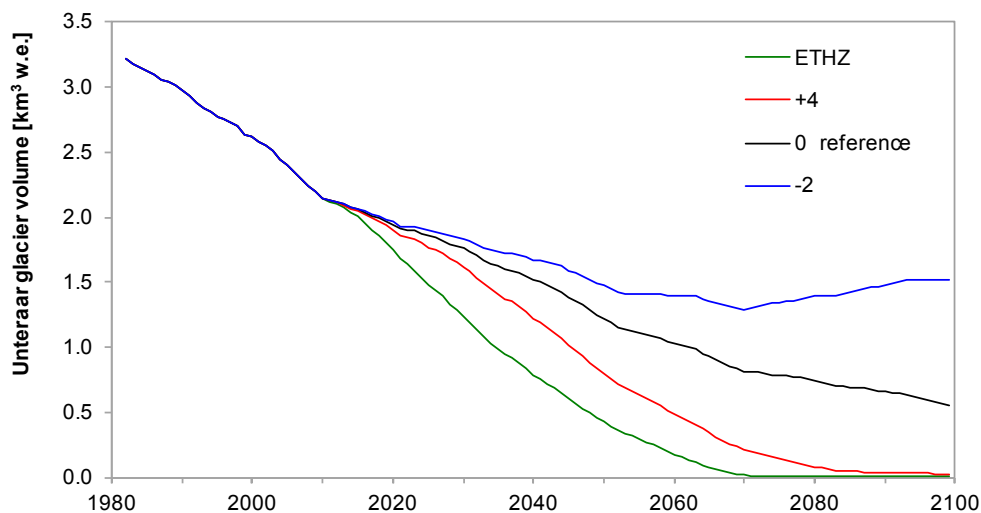


Fig. 99: Evolution du volume du glacier d'Unteraar selon les scénarios climatiques.

### 11.1.6 Analyse des scénarios climatiques – prévision des débits

La Fig. 100 montre les apports annuels dans la retenue du Grimsel. Pour le scénario ETHZ, les apports augmentent légèrement ces 20 prochaines années avant de rapidement diminuer. Pour le scénario de réchauffement  $+4^{\circ}$ , la tendance actuelle se maintient jusqu'en 2040, puis les apports diminuent. Pour le scénario de référence, le résultat est une diminution régulière, mais modérée. Pour un refroidissement, une diminution plus rapide que pour la référence est observée.

En 2100, il est intéressant de constater que les scénarios de refroidissement et de réchauffement donnent des débits très semblables. D'un apport moyen de  $193 \text{ hm}^3$  entre 1982 et 2008, il ne restera que 67 % des apports pour le scénario ETHZ entre 2090 et 2099, contre 81 % pour le scénario de référence.

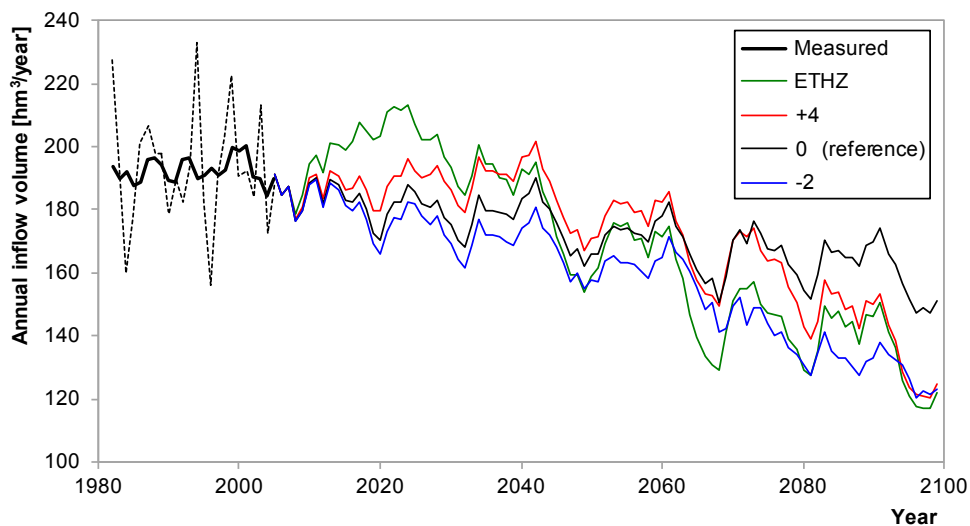


Fig. 100: Apports annuels dans la retenue du Grimsel (moyennés sur 5 ans).

Les apports dans le lac de Mattenalp suivent une évolution similaire (Fig. 101). L'apport moyen à la fin du siècle n'est plus que de 69 % de l'actuel pour le scénario ETHZ, contre 80 % pour le scénario de référence.

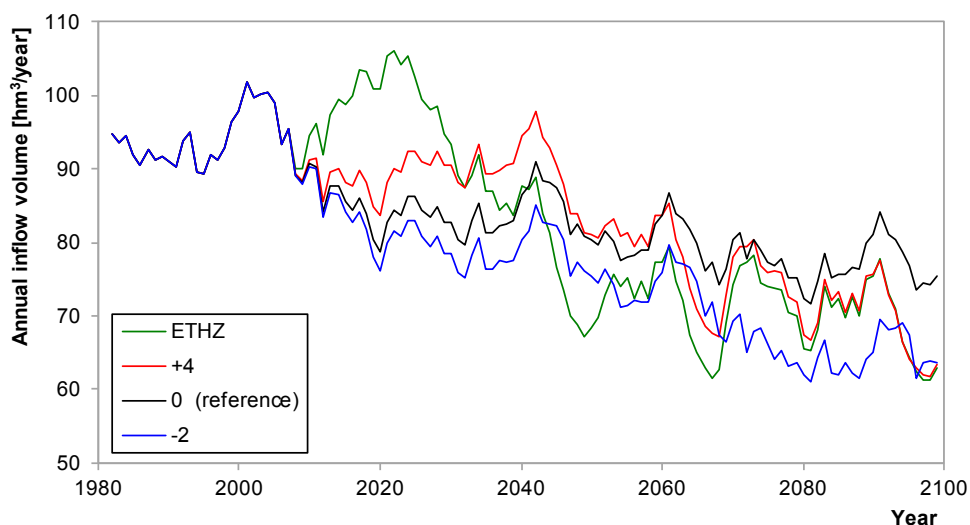


Fig. 101: Apports annuels dans la retenue de Mattenalp (moyennés sur 5 ans).

Pour Trift (Fig. 102), le scénario  $+4^{\circ}$  provoque une augmentation de la fonte sur les 30 premières années, suite au refroidissement initial de 2010/11 (correspondant aux

années froides 1980/81). Le scénario de refroidissement donne des apports souvent nettement plus faibles que les autres scénarios, ce qui n'était pas le cas pour Grimsel et Gault. L'apport moyen à la fin du siècle n'est plus que de 75 % de l'actuel pour le scénario ETHZ, contre 89 % pour le scénario de référence.

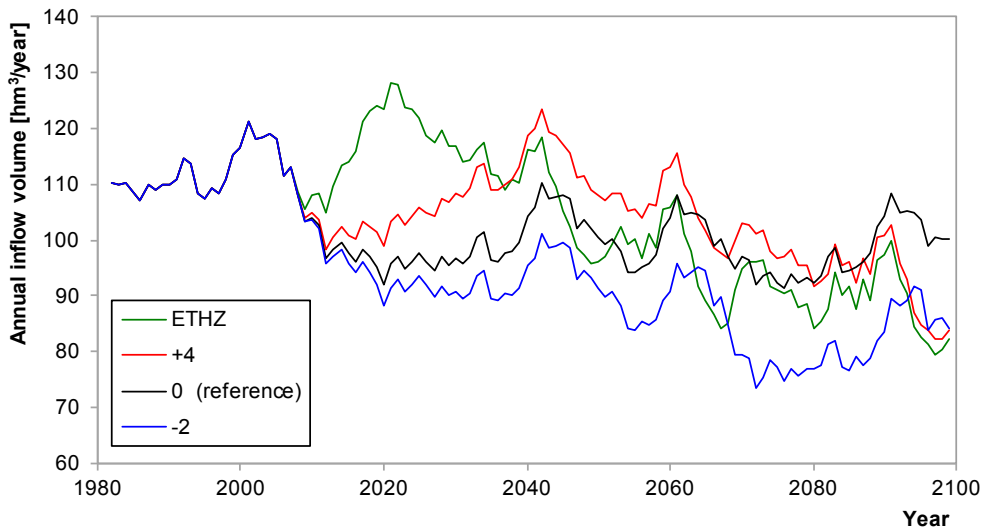


Fig. 102: Apports annuels dans la retenue de Trift (moyennés sur 5 ans).

Pour les hydrogrammes, il y a beaucoup de différences selon les bassins versants étudiés. Ces différences proviennent principalement de l'altitude et de la présence de glaciers. L'année 2003, bien qu'exceptionnelle par les températures caniculaires durant l'été, montre bien les tendances générales.

L'hydrogramme du débit entrant dans la retenue du Grimsel (Fig. 103) pour le scénario de référence montre des différences durant l'été. Durant cette période, la fonte de glace diminue au cours du siècle à mesure que le glacier d'Unteraar s'équilibre avec le climat.



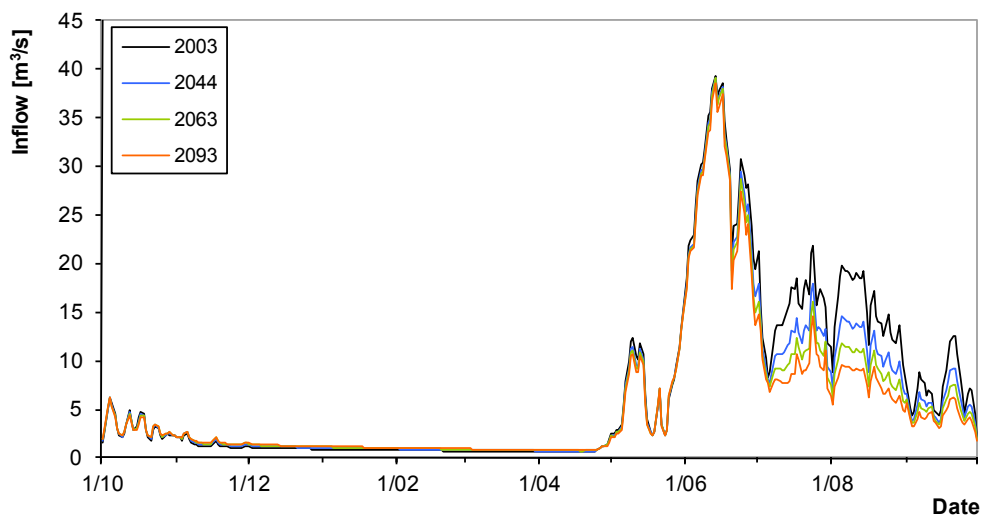


Fig. 103: Hydrogramme du débit entrant dans la retenue du Grimsel, scénario de référence.

Le même hydrogramme mais pour le scénario ETHZ (Fig. 104) montre de gros changements au cours du 21<sup>e</sup> siècle. Durant l'automne des crues plus importantes sont à prévoir puisque des précipitations qui tombaient sous forme de neige tombent sous forme de pluie. La fonte des neiges au printemps se produit plus tôt et de manière plus intense. L'été, la disparition progressive des glaciers réduit considérablement le débit.

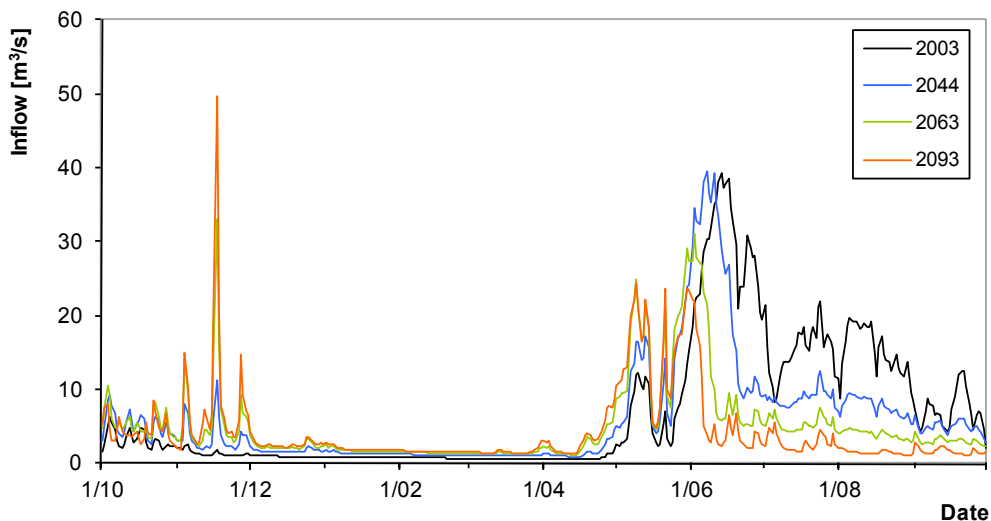


Fig. 104: Hydrogramme du débit entrant dans la retenue du Grimsel, scénario ETHZ.

En analysant un cours d'eau sans glacier, la Gentalwasser à Leimboden sans l'influence des aménagements à l'amont, l'influence du scénario ETHZ au cours du 21<sup>e</sup> siècle est moindre (Fig. 105).

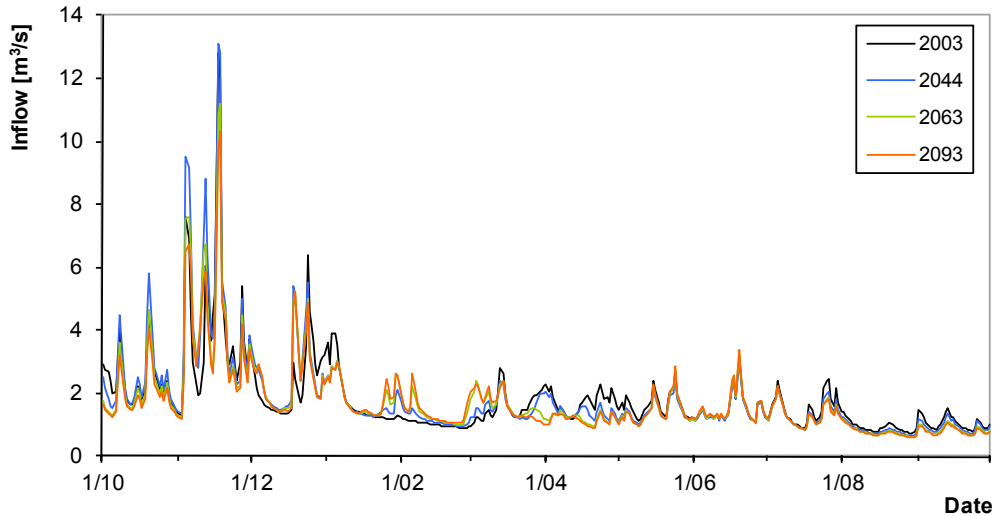


Fig. 105: Hydrogramme du Gental, scénario ETHZ.

Pour finir, la Fig. 106 présente l'hydrogramme moyen des apports de la retenue du Grimsel pour la période 2090–2099. Les deux scénarios de réchauffement donnent des résultats semblables avec une fonte des neiges débutant un mois plus tôt que le scénario de référence, avec une pointe de débit comparable. Après le pic printanier, le débit estival est faible. Pour le scénario de refroidissement, la fonte débute 2 semaines plus tard que le scénario de référence et le débit estival provenant de la fonte des glaciers reste présent. Dans les 4 scénarios, le volume annuel est plus faible que le volume moyen de 2000–2009 de 193 hm<sup>3</sup>.

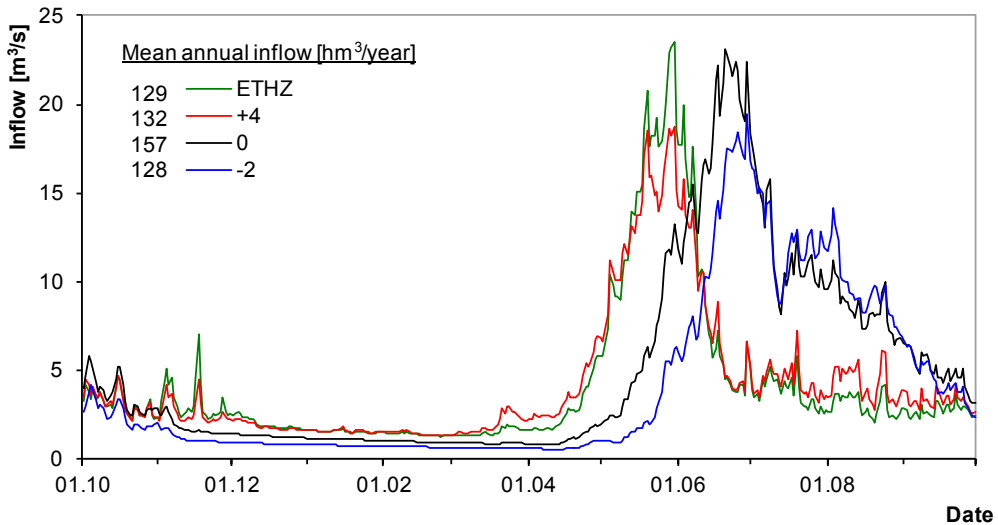


Fig. 106: Hydrogramme moyen pour la retenue du Grimsel pour la période 2090–2099.

### 11.1.7 Analyse des scénarios climatiques – origine des débits

L'origine des débits et la distribution des précipitations pour la retenue du Grimsel sont étudiés dans ce chapitre.

Pour le scénario de référence, le volume annuel entrant dans le lac du Grimsel est en moyenne de 108 % des précipitations, dont 14.5 % provient de la perte de masse glaciaire (Fig. 107). Un pic supérieur à 140 % est simulé pour l'année caniculaire de 2003. Pour l'avenir, quelques pics jusqu'à 120 % sont à attendre. La part du volume glaciaire durable représente 12 % sur les 30 premières années et plus que 7 % sur les 30 dernières.

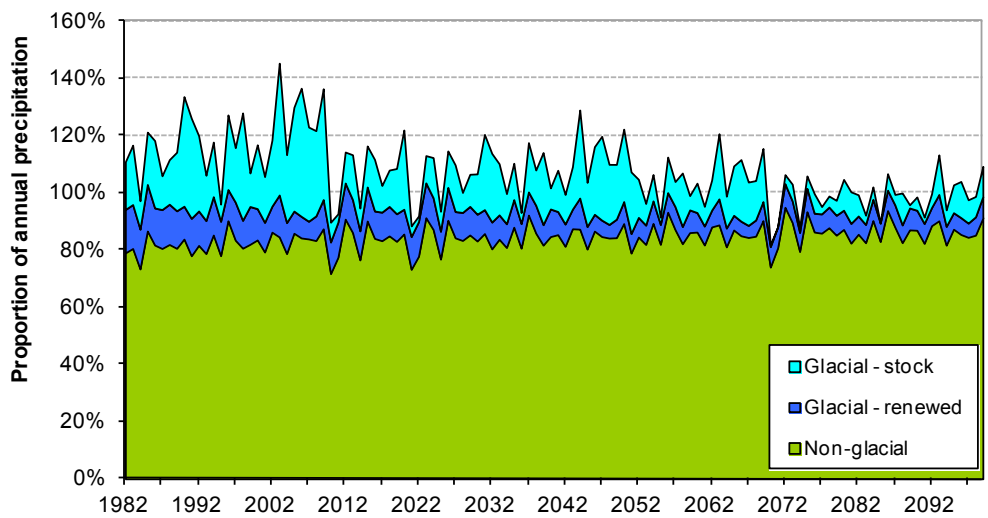


Fig. 107: Origine des débits entrants dans la retenue du Grimsel, scénario de référence.

La distribution des précipitations montre une augmentation de l'évaporation de 6 % à 9 % en moyenne durant la période étudiée (Fig. 108). La part des précipitations qui se transforment en glace passe de 12 % à 7 % avec une stabilisation dès les années 2050.

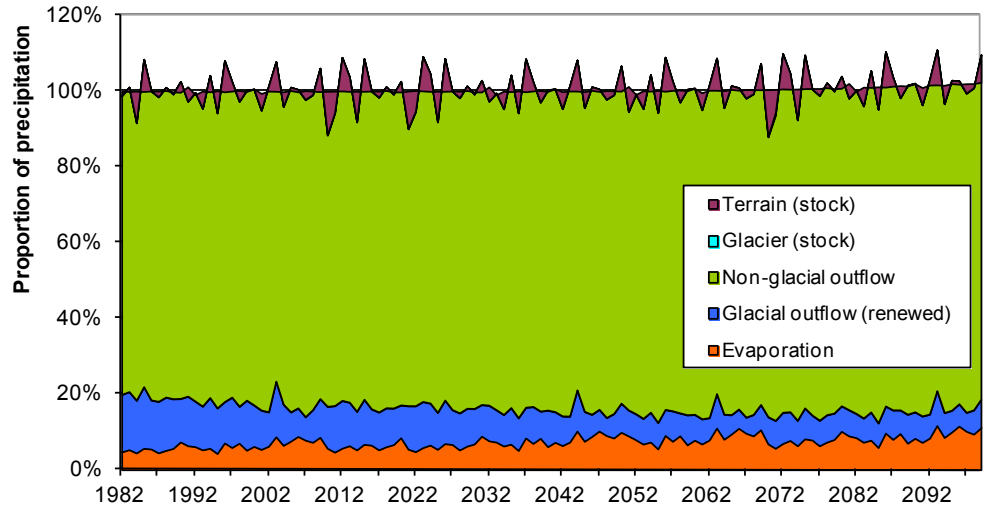


Fig. 108: Distribution des précipitations dans le bassin versant de la retenue du Grimsel, scénario de référence.

Avec le scénario ETHZ, la disparition du glacier d'Unteraar aux environs de 2070 engendre d'importants apports pour les 30 prochaines années. La contribution de la

perte de masse glaciaire était de 25 % des précipitations ces 30 dernières années et elle sera de 28 % les 30 années qui suivent. Il est probable qu'un volume annuel aussi important que celui de 2003 survienne durant cette période.

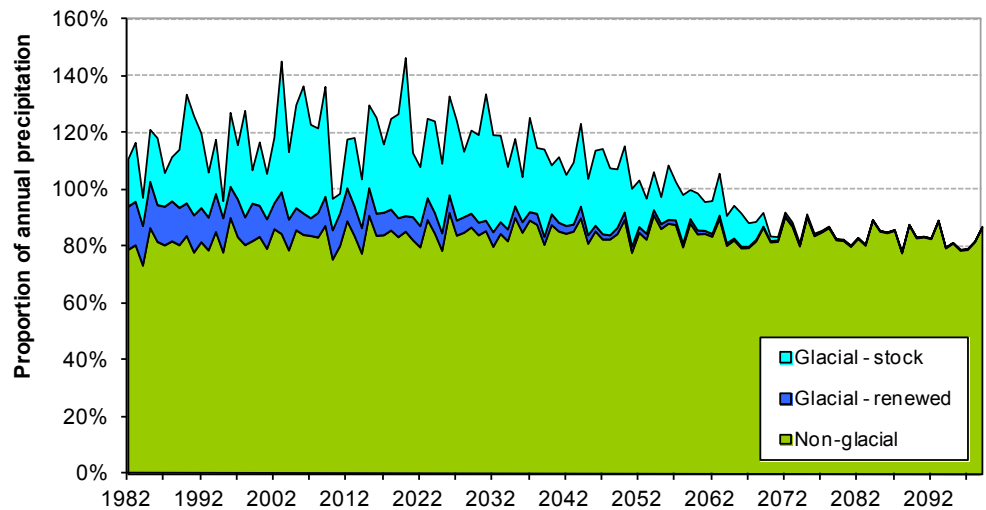


Fig. 109: Origine des débits entrants dans la retenue du Grimsel, scénario ETHZ.

Comme déjà constaté lors de l'étude sur Mauvoisin (9.1), la distribution des précipitations va sensiblement évoluer durant le 21<sup>e</sup> siècle (Fig. 110). L'évaporation passe de 6 % à 17 %, alors que la transformation en glace passe de 12 % à 0 %.

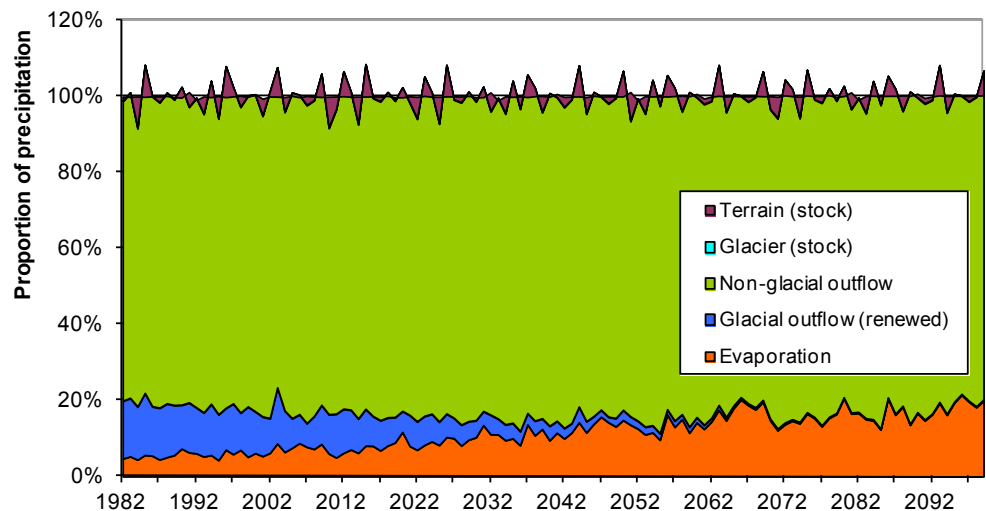


Fig. 110: Distribution des précipitations dans le bassin versant de la retenue du Grimsel, scénario ETHZ.

### 11.1.8 Analyse énergétique et économique des aménagements existants et futurs

L'aménagement actuel est modélisé dans RS3.0, ce qui permet d'obtenir la production annuelle d'énergie, ainsi que les recettes de la vente d'électricité en utilisant les prix du marché spot. L'extension de l'aménagement KWOpplus, ainsi que les aménagements des nouveaux lacs de Gauli et de Trift sont ajoutés par la suite pour analyser leur influence.

L'étude est effectuée sur 3 périodes de 5 ans et les résultats sont moyennés pour obtenir des valeurs annuelles. Les trois périodes sont 1990–96 (comme référence), 2031–36 (avec exploitation des nouveaux lacs) et 2080–85 (fin du siècle avec baisse des apports). Les données météorologiques de ces années sont toutes basées sur 1990–96, ce qui permet de ne pas avoir de différences provenant d'une variation des apports. Le scénario de réchauffement ETHZ est utilisé.

Trois aménagements sont considérés: l'aménagement actuel, l'aménagement actuel avec KWOpplus et finalement l'aménagement actuel avec KWOpplus et les aménagements liés aux nouveaux lacs. L'aménagement KWOpplus est étudié en 1990–95, même s'il n'est pas encore actuellement construit, afin d'avoir un point de comparaison sur les 3 périodes. Le Tab. 32 montre la puissance de chaque aménagement.

Tab. 32: Puissance des aménagements considérés.

<b>Puissance [MW]</b>	<b>Actuel</b>	<b>KWO+</b>	<b>NewLakes</b>
Fil de l'eau	102	102	102
Accumulation	1'023	1'863	2'333
Pompage	368	968	968

La production de chaque centrale est donnée au Tab. 33. La production totale entre 1990–96 et 2031–36 est semblable, alors qu'une perte d'environ 250 GWh/an apparaît entre 2031–36 et 2080–85 due à la diminution des apports, notamment glaciaires.

L'augmentation de la production avec l'aménagement KWOpplus provient seulement de la centrale de pompage-turbinage Grimsel 3, puisqu'il n'y a pas d'exploitation d'un nouveau palier. Par contre, la concentration du temps de turbinage annuel permet de vendre à de meilleur prix (Tab. 34). Cet effet est par exemple visible pour la centrale d'Innertkirchen 1.

## Neue Seen als Folge des Gletscherschwunds

Tab. 33: Production des différentes centrales existantes en combinaison avec les futurs lacs de Gaulti et de Trift [GWh/an].

Période Aménagement	1990-1996		2031-2036			2080-2085	
	Actuel	KWO+	Actuel	KWO+	New Lakes	KWO+	New Lakes
Führen (Trift)	-10	-10	-8	-8	-11	-5	-9
Führen (Leimboden)	20	20	21	21	21	20	20
Grimsel 1 (Grimsel)	29	15	32	21	23	20	21
Grimsel 1 (Oberaar)	63	12	58	13	14	10	9
Grimsel 2 T	820	669	838	688	656	729	708
Grimsel 2 P	-1'125	-1'025	-1'150	-1'036	-1'057	-1'050	-1'075
Handeck 1	173	135	169	127	132	106	110
Handeck 2	260	294	255	291	287	235	236
Handeck 3 (IsoT Trift)	32	26	33	26	29	20	23
Hopflauen Leim	25	25	25	25	25	23	23
Hopflauen Trift	250	247	249	246	132	198	119
Innertkirchen 1	712	721	685	693	664	572	557
Innertkirchen 2	176	174	171	169	102	141	93
KWO+ / Grimsel 3 T		1'456		1'509	1'528	1'508	1'524
KWO+ / Grimsel 3 P		-1'782		-1'887	-1'823	-1'948	-1'895
NL / Innertkirchen 3					456		365
NL / Gaulti					31		24
<b>Somme (turbinage)</b>	<b>2'562</b>	<b>3'794</b>	<b>2'536</b>	<b>3'829</b>	<b>4'100</b>	<b>3'582</b>	<b>3'834</b>
<b>(pompage)</b>	<b>-1'135</b>	<b>-2'818</b>	<b>-1'157</b>	<b>-2'931</b>	<b>-2'891</b>	<b>-3'003</b>	<b>-2'979</b>

Tab. 34: Recettes de vente d'électricité si toute l'énergie est vendue sur la marché spot actuel [Mio EUR].

Période Aménagement	1990-1996		2031-2036			2080-2085	
	Actuel	KWO+	Actuel	KWO+	New Lakes	KWO+	New Lakes
Führen (Trift)	-0.5	-0.5	-0.3	-0.3	-0.5	-0.2	-0.4
Führen (Leimboden)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Grimsel 1 (Grimsel)	2.0	1.0	2.1	1.3	1.4	1.0	1.1
Grimsel 1 (Oberaar)	5.0	1.1	4.9	1.2	1.2	0.8	0.8
Grimsel 2 T	58.1	47.1	59.0	47.9	46.1	50.0	48.8
Grimsel 2 P	-37.2	-35.2	-37.6	-35.4	-36.6	-35.5	-36.7
Handeck 1	11.5	9.1	11.3	8.6	8.9	7.3	7.5
Handeck 2	16.2	22.2	15.9	21.9	21.8	17.1	17.2
Handeck 3 (IsoT Trift)	2.5	2.2	2.6	2.2	2.5	1.8	2.0
Hopflauen Leim	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Hopflauen Trift	12.1	11.9	11.8	11.7	6.8	9.7	6.2
Innertkirchen 1	43.1	49.4	41.9	47.4	46.4	38.3	37.8
Innertkirchen 2	9.1	9.0	8.7	8.7	5.7	7.5	5.4
KWO+ / Grimsel 3 T		98.3		100.4	101.9	99.5	100.4
KWO+ / Grimsel 3 P		-63.5		-66.3	-63.6	-67.5	-65.2
NL / Innertkirchen 3					35.6		28.0
NL / Gaulti					2.5		2.1
<b>Somme</b>	<b>124.0</b>	<b>154.0</b>	<b>122.3</b>	<b>151.1</b>	<b>182.3</b>	<b>131.8</b>	<b>156.9</b>

Avec l'aménagement des nouveaux lacs, il y a un gain de production par l'exploitation de 2 nouveaux paliers. Le Tab. 35 détaille la situation. Les gains par le turbinage des eaux de Gaulti entre Grimsel et Räterichsboden est difficilement

chiffrable à cause de la multitude de centrales pouvant exploiter cette chute et n'est donc pas inclus. Le gain de production obtenu permet de compenser les pertes de l'aménagement actuel durant le 21<sup>e</sup> siècle.

Tab. 35: Augmentation de la production par les aménagements des nouveaux lacs de Gault et de Trift [GWh/an].

	2031-36	2080-85
Gault	31	24
Innertkirchen 3	456	365
Pertes Hopflaenen	-114	-79
Pertes Innertkirchen 2	-68	-48
<b>Bilan</b>	305	263

Avec ces données, l'analyse économique de l'aménagement de Trift peut être adaptée (Tab. 36). Le prix de revient est calculé avec les prix de marché spot actuel sans considérer le marché de réserve avec puissance garantie à l'avance. La production est meilleure qu'estimée auparavant, ce qui permet de diminuer le prix de revient. En 2031-36, le prix de revient est inférieur au prix de vente moyen du marché spot actuel si l'on considère que les paliers existants sont amortis.

Tab. 36: Analyse économique de l'aménagement du nouveau lac de Trift.

		2031-36	2080-85
Investissement	Mio EUR	471.8	471.8
Production totale nouveau palier	GWh/an	456	365
Production supplémentaire par rapport aux paliers actuels	GWh/an	274	239
Annuité	Mio EUR/an	25.8	25.8
Exploitation	Mio EUR/an	9.1	7.3
Prix de revient (prod. totale)	EUR/MWh	76.7	90.8
Prix de revient (prod. supplémentaire)	EUR/MWh	127.6	138.7
Prix de vente moyen (Routing System ; marché spot)	EUR/MWh	78.0	76.7

Comme déjà mentionné, cette étude se base sur le prix du marché spot. Il a été expliqué auparavant dans l'étude de Mauvoisin que ce prix ne représente pas complètement la situation du marché électrique. De meilleurs prix peuvent être attendus avec des contrats de vente à l'avance avec puissance garantie, d'autant plus que les Forces Motrices de l'Oberhasli disposeraient de 2.3 GW de puissance installée entièrement réglable (Tab. 32).



### 11.1.9 Conclusions

L'étude des glaciers dans le bassin versant des KWO a pu être plus détaillée qu'auparavant pour Mauvoisin, ce qui a permis un bon calage des hydrogrammes. Les pertes de l'aménagement existant suite à la réduction des apports futurs peuvent être compensées par le développement de 2 nouveaux paliers utilisant de nouveaux lacs glaciaires apparus cette dernière décennie. Le premier relie le lac de Gauli à la retenue du Grimsel, tandis que le second, de taille plus importante, relie le lac de Trift à Innertkirchen et comprend une nouvelle adduction des eaux de la Steinwasser. L'aménagement des ces deux lacs permet d'augmenter la capacité de stockage pour permettre de produire plus d'énergie de pointe, mais aussi de tirer plus d'énergie des cours d'eau actuellement exploités.

Seule une optimisation sommaire de la production a été effectuée dans RS3.0, alors que le calcul des coûts de construction s'est basé sur un rapide prédimensionnement, mais le résultat montre que ces nouveaux lacs ont un intérêt hydroélectrique et qu'il est potentiellement rentable de les exploiter déjà avec les prix du marché spot. Il est aussi à noter que ces deux aménagements de Gauli et de Trift pourraient être construits dans un avenir proche, et le devraient même afin d'exploiter au maximum les pointes de débit glaciaire attendues lors des prochaines décennies.

## 11.2 Touristisches Potenzial

Am Beispiel des Triftgletschers (siehe Titelbild) kann gut illustriert werden, welche touristische Bedeutung bei entsprechender Inszenierung von neuen Gletscherseen ausgehen kann. Nach dem sukzessiven Rückgang des Triftgletschers wurde der Zugang zur SAC-Trifthütte zum Problem. Es entwickelte sich die Idee einer Hängebrücke nach nepalesischer Bauart, die 2004 in Betrieb genommen wurde. Zusammen mit der Brücke wurde der Gletschersee sehr populär. Die erste Brücke wurde 2009 durch eine neue Hängebrücke ersetzt, die rund 170 m lang und 100 m hoch ist. Voraussetzung für die Popularität dieser Attraktion war die von der Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) betriebene Werkbahn aus dem Gadmertal über die Triftschlucht, die restauriert wurde. An schönen Wochenenden entstehen Wartezeiten bis zu zwei Stunden und Gäste müssen abgewiesen werden. Dieses Beispiel veranschaulicht die Folgen für das touristische Angebot aufgrund der sich verändernden Landschaft. Im nachfolgenden Kapitel wird kurz auf die KWO eingegangen, welche in den letzten Jahren zu einem wichtigen Tourismusanbieter für diese Region geworden ist. In Kap. 11.2.2 wird, stellvertretend für viele Alpenregi-

onen, auf die durch den Gletscherrückzug zunehmend erschwerten Hüttenzustiege im Grimsel-, Rhone- und Aletschgebiet eingegangen.

### 11.2.1 Stromkonzern als Tourismusanbieter

Der Erfolg der oben beschriebenen touristischen Attraktion beflügelte die KWO. Sie schaffte zahlreiche weitere touristische Angebote, die alle im Zusammenhang mit dem Bau und dem Betrieb der Kraftwerke stehen: Es wurden die Hotels Handeck, Grimsel Hospitz, Oberaar, Bäregg und Tälli äusserst geschmackvoll restauriert, die Werkbahnen Gelmerbahn, Triftbahn, Tällibahn, Meiringen-Innertkirchen-Bahn sowie die Handeck-Gestenegg-Bahn renoviert und Kraftwerkführungen sowie Ausflüge organisiert. Das alles wird in der „Grimselwelt“ mit dem Slogan „*Wo die Energien fliessen*“ zusammengefasst, betrieben und vermarktet (Grimselwelt o. J.). Die Grimselwelt profitiert von der einzigartigen (Gletscher-)Landschaft, von bestehenden Werkanlagen mit historischen Werten und von der KWO als starker Partnerin. Sie wurde im Jahr 2010 mit dem Milestone, dem höchsten Innovationspreis des Schweizer Tourismus, ausgezeichnet.

Es handelt sich um eine geschickte Angebotsentwicklungs- und Kommunikationsstrategie mit einem grossen Synergiepotenzial, bei denen die Konfliktbereiche – abgesehen von jenen bezüglich Kraftwerkausbau – klein sind. Im Zusammenhang mit den Ausbauvorhaben der KWO und der Erhöhung der Staumauer am Grimselsee wird auch in Erwägung gezogen, mögliche Wasserreserven aus den Gletscherseen am Steingletscher zu nutzen. Dies hätte dann allerdings auch für den Tourismus landschaftliche Implikationen, insbesondere im Bereich der geschützten Moorlandschaft.

### 11.2.2 Einfluss der Gletscherveränderungen auf Hüttenzustiege

Allgemein ist der Bergsport durch die veränderten klimatischen Bedingungen einem Wandel unterworfen. So müssen Routen plötzlich abgeändert werden, weil sie zu gefährlich oder nicht mehr passierbar sind. Die zunehmenden Landschaftsveränderungen werden insbesondere in der Zeitrafferbetrachtung immer auffälliger: „*Im Frühsommer vor einigen Jahren stieg ich mit einer Kundin vom Fiescherhorn über den Walchergrat zur Konkordiahütte ab. Der Blick vom Gipfel runter auf den Gletscher war erbärmlich; wo ich Schnee erwartet hatte, erblickte ich ein Meer aus braunem Schutt*“ (Nägeli, Gründer/Leiter Bergschule Züri in: NZZ vom 08.10.2010). Veränderte Bedingungen entstehen unter anderem aufgrund der früher einsetzenden Schneeschmelze.

Auch die Berghütten sind dem Wandel unterworfen. Im Schweizer Alpenraum sind rund ein Drittel der total 153 SAC-Hütten direkt von Gletschern umgeben. Diese vereisten, attraktiven Landschaften ziehen denn auch seit jeher Bergbegeisterte an. Waren früher die meisten Hütten Stützpunkt auf dem Weg zu Kletter- und Bergtouren auf die umliegenden Gipfel, stellen Hütten heute eigenständige Ziele dar. Die Verschiebung der Gästestruktur hat zu einem Ausbau und damit zu einer Komfortsteigerung vieler Hütten geführt. Auch wurden neue Wege, Lehrpfade und Klettergebiete errichtet, um den Bedürfnissen der Bergsportler gerecht zu werden. Der Klimawandel stellt neue Herausforderungen an die Hüttenbetreiber. Rund die Hälfte der von Gletschern umgebenen SAC-Hütten ist heute durch verschiedene Veränderungen bedroht (Expertentreffen, 18.10.2011; GVB 2011, S. 26ff):

- Schmelzende Gletscher: Zugangsrouten verschwinden oder verändern sich.
- Erschwerte Wasserversorgung: Aufgrund Schmelze nahe gelegener Firnfelder trocknen Quellen aus.
- Auftauender Permafrost: Felsabbrüche und Murgänge erschweren den Zugang.

Zurzeit ergeben sich für die Hütten insbesondere durch den fortgeschrittenen Gletscherrückzug Veränderungen. Im Jahr 2011 führten 39 Hüttenzustiege im Sommer und 47 im Winter über einen Gletscher. Bei den Übergängen (von einer Hütte zu einer andern bzw. zu Ortschaften) führten 105 der 229 über Gletscher. Wie in der Einleitung am Beispiel Trift gezeigt wurde, erfolgten auch bereits Anpassungsmassnahmen wegen entstehender Gletscherseen. Solche Beispiele werden sich bis zur Mitte des Jahrhunderts häufen. Die heute meist gut begehbaren Gletscherfelder werden beispielsweise durch glatte steile Gletscherschliffplatten oder eben durch Seen an vielen Stellen nur noch beschwerlich oder gar nicht mehr passierbar sein. Für einzelne Tourismusregionen stellen sich in diesem Zusammenhang Kosten-Nutzen-Fragen zur Erhaltung und Erweiterung des Angebots.

Experten<sup>21</sup> (vgl. auch Kap. 5 und 8.2) sind sich darüber einig, dass die neuen Landschaften grosses Erlebnispotenzial bergen, die Herausforderungen für Verantwortliche wie Bergführer, Hüttenwarte etc. aber grösser und vielfältiger werden. Letztlich geht es immer auch um Fragen der Sicherheit, der Kosten und Investitionen, um die Veränderungen zu bewältigen. Aus Expertensicht ist es gesamttouristisch wichtig, wie sich die Tourenangebote entwickeln, sind doch rund 98 % der Alpinisten gewöhnliche Wanderer und nur 2 % eigentliche hochalpine Bergsportler.

---

<sup>21</sup> Expertentreffen vom 18.10.2011 sowie Stakeholder-Workshop vom 18.08.2011.

Im Folgenden werden anhand von vier SAC-Hütten im Grimsel-Rhone-Aletschgebiet die oben beschriebenen Probleme aufgezeigt, die allesamt viel mit dem Gletscherrückzug, jedoch nur am Rande mit den Gletscherseen zu tun haben. Die Angaben entstammen dem Expertentreffen, der Logiernächtestatistik des SAC (2006–2010) sowie dem Band „Berner Berghütten“ (GVB 2011).

### *Triflhütte*

Der alte Hüttenweg über den Gletscher war beschwerlicher als der heutige über die Hängebrücke. Diese Strecke hat deutlich an Attraktivität gewonnen. Durch die wieder instand gestellte Werkbahn konnte der Zustieg wesentlich verkürzt werden. In den letzten fünf Jahren haben rund 10'000 Gäste die Hütte besucht. Mit der Unterstützung der KWO verfügt die Hütte über eine finanziell gesicherte Grundlage.

### *Lauteraarhütte*

Der Hüttenaufstieg zur Lauteraarhütte wird immer schwieriger. In den letzten paar Jahren hat sich der Unteraargletscher massiv verändert und die kollabierenden Eismassen könnten den Gletscher plötzlich unbegehrbar machen. So muss der Weg alljährlich neu ausgesteckt werden, um sichere Übergänge zu signalisieren. Falls der Hüttenweg in wenigen Jahren erst nach dem hinteren Brandlamm auf den Gletscher geführt werden könnte, würde dies gefährlich, da das hintere Brandlamm eine lebendige und stark Steinschlag gefährdete Rinne ist. Im Zusammenhang mit einer möglichen Erhöhung der Staumauer am Grimselsee wurde gemeinsam mit der KWO für rund CHF 1 Mio. ein Tunnel von 200 m Länge errichtet, um die heikelste Stelle des Wegs zu sichern. Die Sicherung des Wegs ist aus Sicht der Hüttenbetreiber sehr wichtig, da rund 1'000 Übernachtungen pro Jahr für einen rentablen Betrieb benötigt werden. Diese Zahl wurde in den letzten fünf Jahren nicht immer erreicht.

### *Konkordiahütte*

Die Hütte befindet sich auf einer Felsschulter oberhalb des Grossen Aletschgletschers. Die Eisdicke hat sich seit dem Bau der ersten Hütte im Jahr 1876 um ca. 100 m verringert. Dadurch wurde eine grosse, glatte Granitplatte frei, die den Hüttenaufstieg erschwert. Aktuell überwindet eine Metalleiter mit 430 Stufen die rund 150 Höhenmeter bis zur Hütte. Periodisch muss diese Leiter verlängert werden, da sich der Gletscher um ca. 2.7 m pro Jahr senkt. Die Hütte ist eine wichtige Übernachtungsstelle für mehrtägige Hochgebirgswanderungen. Die rund 150 Schlaf-

plätze werden von über 7'000 Gästen jährlich benutzt. Damit erwirtschaftet die Hütte rund CHF 200'000 Umsatz pro Jahr.

### *Oberaletschhütte*

Auch der Weg zur Oberaletschhütte ist vom Gletscherrückzug betroffen. So war der alte Zustieg über den Gletscher immer schwieriger und für viele Wandernde unbegehrbar geworden. Die Übernachtungszahlen gingen stetig zurück und gefährdeten vor allem im Sommer einen rentablen Betrieb. Durch einen neuen ca. 3 km langen Panoramaweg (über die Südwestflanke der Fusshörner) im Jahr 2005 wurde der Zustieg zur Hütte erleichtert. Es waren viele Felssprengungen (eine Tonne Sprengstoff) sowie rund 1'000 Steckeisen nötig, um einen gut begehrbaren, stabilen Wanderweg zu erstellen. Die Gesamtkosten beliefen sich auf über CHF 400'000 (vgl. auch Oberaletsch 2011). Die Hütte registrierte in den vergangenen Jahren rund 2'000 Übernachtungen.

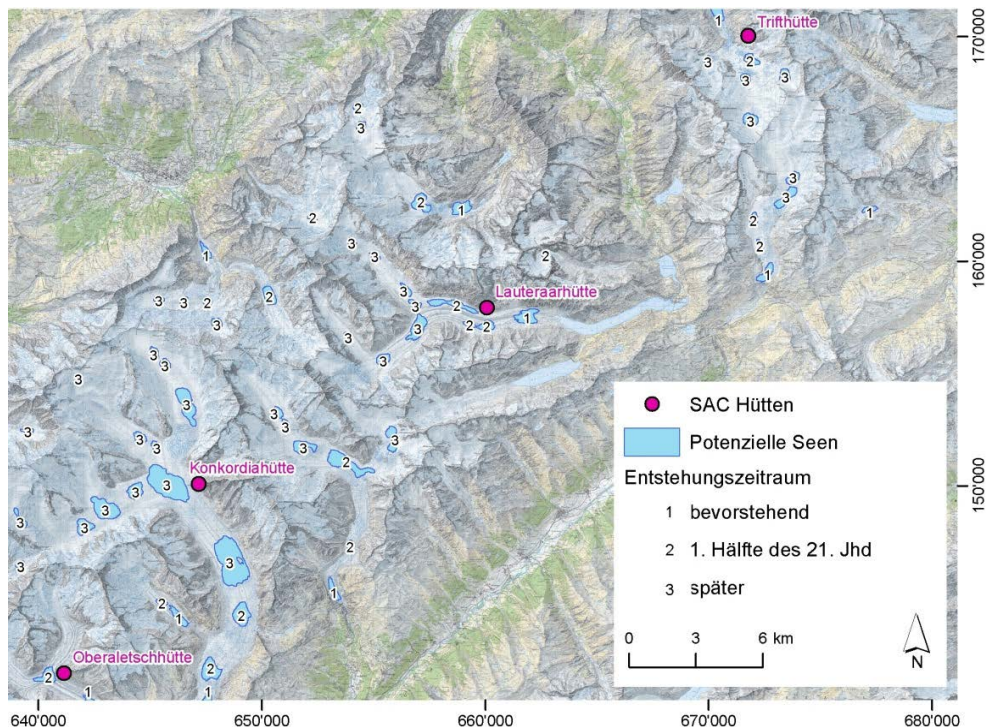


Fig. 111: In dieser Studie behandelte Berghütten im Gebiet Rhone-Grimsel-Aletsch umgeben von Gletscherseen (GIUZ 2011). Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA110005).

Alle vier Beispiele machen die Folgen des Gletscherrückzugs auf die Erholungsfunktion der Landschaft deutlich (vgl. dazu Kap. 5.3). Dies hat bei der Triflhütte bereits zu einer attraktiven Anpassungsmassnahme „Hängebrücke“ geführt. Wie Fig. 111 zeigt, werden alle oben beschriebenen Hütten voraussichtlich kurz- oder mittelfristig von Gletscherseen umgeben sein. Damit ist einerseits mit weiteren Routenänderungen mit positiven und negativen Auswirkungen zu rechnen, andererseits führt dies zu neuen Attraktionen. Die Landschaftsumgebung wird sich in jedem Fall verändern. In der Expertendiskussion war man sich einig, dass das Element Wasser und damit die neuen Gletscherseen attraktiv sein und Touristen bzw. Wandernde anlocken werden. Obwohl allgemein der Gletscherrückzug für die Landschaft im Sinne einer Verödung als negativ erachtet wird, kommt es lokal zu Aufwertungen im Sinne von neuen Elementen.

### 11.2.3 Fazit aus touristischer Sicht

Trotz des Gletscherrückzugs ist der Bergsport in den letzten Jahren populärer geworden. Parallel dazu wurden die Hütten immer mehr modernisiert und den veränderten Bedürfnissen angepasst. Am Beispiel der neuen Monte Rosa-Hütte wird diese Popularisierung deutlich. Wanderten bis 2009 rund 4'500 Personen zur Hütte, steigerte sich die Zahl der Logiernächte im Eröffnungsjahr 2010 auf über 10'000. Bei einem derartigen Ansturm sind aber auch Personen darunter, welche schlecht ausgerüstet sind, verunfallen oder aus der Hütte geflogen werden müssen, da sie die anstrengende und nicht ungefährliche Wanderung über den Gletscher nicht mehr wagen. Auch die gut ausgebauten Wege fördern dieses Massenphänomen. Bei der Monte Rosa-Hütte ist durch die rasche Absenkung des Gletschers der Zustieg in den letzten Jahren sehr beschwerlich geworden. In Diskussion steht ein neuer Höhenweg, auf dem die Hütte von oben her erreicht werden kann. Kostenpunkt: CHF 700'000–1'000'000. Damit wäre die Hütte, eingebettet in einer attraktiven Landschaft, sehr gut und mit geringer Steigung erreichbar.

Auch der Bergsport und die Aufrechterhaltung des Angebots stehen unter Rentabilitätsdruck. Wenn viel in den Neu- und Umbau von Hütten investiert wird, müssen auch entsprechend Umsätze generiert werden können. Die Gletscherseen dürften deshalb als neue Elemente in der Landschaft dazu beitragen, trotz zunehmend erschwerter Bedingungen, die Attraktivität des Alpenraums als Outdoorraum hoch zu halten. Trotzdem werden sich Fragen hinsichtlich der Rentabilität oder der Finanzierung von Anpassungsmassnahmen einzelner Angebote stellen. Es wird auch zu Interessenkonflikten bezüglich der ökologischen Aspekte führen (vgl. Kap. 11.4).

### 11.3 Naturrisiken

Der heutige See vor dem Triftgletscher wies im September 2005 ein Volumen von 5.1 Mio. m<sup>3</sup> auf (Keusen & Pfeifer, 2005) und befindet sich in der Reichweite von Fels- und Eisstürzen (Fig. 112b). Im Falle einer Stauung des Sees (Kap. 11.1) würde die Fläche der möglichen Anrisszonen vermutlich noch zunehmen. Momentan befindet sich der See unterhalb der Gletscherzunge, welche auf einer Steilstufe liegt. Der Gletscher ist an dieser Stelle deshalb stark zerspaltet und weist viele Seracs (Eisstürme) auf, welche zusammenbrechen können. Stürzt eine Eislawine mit einem Volumen von 5 Mio. m<sup>3</sup> in den See (Worst Case), wird im Gadmertal 11 min. später eine Abflussspitze von 400 m<sup>3</sup>/s erwartet. Dies entspricht der achtfachen je gemessenen Abflussspitze (Dalban Canassy et al., 2011). Die akute Gefahrensituation wird gegenwärtig überwacht und für die von einer Flutwelle betroffenen Wohngebäude im Gebiet Schwendi/Nessenthal ist seit mehreren Jahren ein automatischer Telefonalarm eingerichtet (Auskunft Nils Hählen, Kanton BE, 2011). Für die Touristen, welche seit der schnellen Seebildung und der Eröffnung der Hängebrücke in grosser Zahl das Gebiet besuchen (Kap. 11.2), besteht besonders an der Überquerung des Triftwassers Gefahr. Die Querung ist zwar relativ kurz, wegen der Nähe zur Gefahrenquelle sind aber sehr grosse Einwirkungen und plötzliches Auftreten zu erwarten. Die Touristen werden daher im Ereignisfall durch akustische und optische Signale auf eine Flutwelle aufmerksam gemacht (Auskunft N. Hählen, Kanton BE, 2011). Warnschilder erläutern die Problematik von Fels- und Eisstürzen in den Triftsee mit anschliessender Schwallwellenbildung und plötzlichem Anstieg des Gletscherbaches.

Von den beiden Seen im Gebiet des Gauligletschers liegt nur der obere See, welcher sich möglicherweise noch in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts bilden wird, in Reichweite von Fels- und Eisstürzen (Fig. 112a). Der See wird sich in einem Kar befinden, welches jedoch nur an wenigen Stellen das minimale Gefälle für einen Sturz sowie das benötigte Pauschalgefälle zum Erreichen des Sees aufweist. Der sich bereits heute bildende untere See ist nicht direkt durch Stürze gefährdet. Im Falle eines Ausbruchs des oberen Sees könnte jedoch ein Kaskadeneffekt auch den unteren See zum Ausbruch bringen. Ein Überfliessen mit Seeausbruch durch Rauminstabilität ist nicht zu erwarten, da der See von Felsriegel umringt ist.



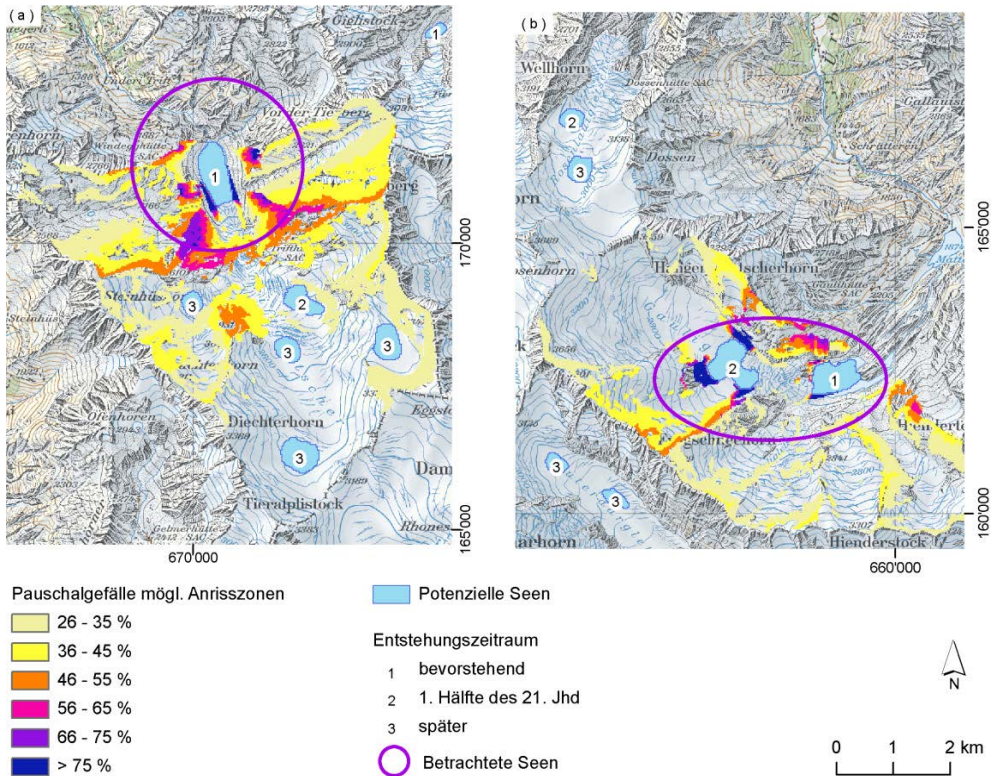


Fig. 112: Modellerte Übertiefungen der Betten des Trift- (a) und Gauligletschers (b), wo sich potenziell Seen bilden können. Für die betrachteten Seen sind die Zonen (min. Gefälle: 30°) eingezeichnet, aus denen potenzielle Felsstürze bis zum See gelangen können. Je höher das Pauschalgefälle (Verhältnis von Vertikal- zu Horizontalabstand) zwischen Anrisszone und See ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Sturz den See erreicht (vgl. Lauftext; Daten: M. Serraino). Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA110005).

## 11.4 Ausgewählte rechtliche Aspekte

- Fels- und Gletschergebiete gehören zum Hoheitsgebiet des Kantons Bern, gemäss Art. 664 Abs. 1 Zivilgesetzbuch (ZGB) und Art. 77 und 78 des Berner Einführungsgesetzes zum ZGB.
- Vorliegend kommt diese grundsätzliche Regelung für das Grimselgebiet jedoch nicht zum Zug, da die Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) den Eigentumsnachweis in einem Rechtsstreit mit dem Kanton Bern gemäss Art. 664 Abs. 2 ZGB erfolgreich erbringen konnten. Das Bundesgericht stützte im Jahre 1993 in zwei Urteilen den Entscheid des Appellationshofs des Kantons Bern, die KWO sei Privateigentümerin der betroffenen Alpen und



Gebirgslandschaften. Der Kanton Bern habe im Gerichtsprozess die vermutete Richtigkeit der Eintragung der Alpen im Grimselgebiet (samt Fels- und Gletscherzonen) als Eigentum der KWO bzw. ihrer Rechtsvorgänger im kantonalen Grundbuch nicht widerlegen können. Der Kanton Bern habe sich zudem widersprüchlich verhalten. Bis im Jahre 1974 habe er den entsprechenden Grundbucheintrag anerkannt und erst – im Rahmen einer Neuvermessung im Jahre 1977 – bestritten. Als Ergebnis ist festzuhalten, dass mindestens der Unter- und Oberaargletscher seit Jahrzehnten im Privateigentum der KWO stehen. Dies ändert allerdings nichts daran, dass auch für diese Privatgrundstücke das geltende öffentliche Recht (z.B. Umweltrecht) anwendbar ist (dazu Bütler, 2006, S. 112 ff.).

- Der Raum Oberhasli, insbesondere Unteraar- und Oberaargletscher, Bächli-, Grueben- und Gauligletscher sowie Alpli-, Diechter- und Gelmergletscher befinden sich im Schutzperimeter des Inventars der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN), Nr. 1'507/1'706, Berner Hochalpen und Aletsch-Bietschhorn-Gebiet (nördlicher Teil). Geschützt ist unter anderem die grossartige Hochalpenlandschaft. Diese Gletschergebiete sind in besonderem Masse ungeschmälert zu erhalten bzw. grösstmöglich zu schonen (Art. 5 und 6 Natur- und Heimatschutzgesetz).
- Das Gebiet Unteraar-, Oberaar-, Bächli- und Gruebengletscher gehört gleichzeitig zum Schutzperimeter des UNESCO-Welterbes Jungfrau Aletsch ([www.jungfraualetsch.ch](http://www.jungfraualetsch.ch)). Rechtlich ist dies nicht mit weitergehendem, bindendem Schutz als vor der Aufnahme verbunden. Die bedeutende Auszeichnung dürfte in touristischer Hinsicht anziehend wirken.
- In der Region Oberhasli befinden sich vier Auengebiete von nationaler Bedeutung, welche im Inventar als Schutzobjekte verzeichnet sind: Nr. 86 Sandey (Innertkirchen), Nr. 1'206 Gauligletscher (Innertkirchen), Nr. 1'214 Diechtergletscher (Guttannen) und Nr. 1'327 Bächlisboden (Guttannen). Diese Gletschervorfelder sind als Schutzobjekte ungeschmälert zu erhalten (Art. 4 Abs. 1 Auenverordnung).
- Zu beachten sind die beiden Flachmoore von nationaler Bedeutung, Schutzobjekte Nr. 245 Mederlouwenen (Guttannen, nördlich des Grimselsees) und Nr. 2'638 Chessibidmer (Guttannen). Gemäss Art. 4 der Flachmoorverordnung müssen die Objekte ungeschmälert erhalten werden.
- Hinzu kommt ein grösseres Schutzgebiet einer Moorlandschaft von besonderer Schönheit und von nationaler Bedeutung. Es handelt sich um das Schutzobjekt Nr. 268 Grimsel (Guttannen, nördlich des Grimselsees). Nach Art. 4 Abs. 1 Bst. a der Moorlandschaftsverordnung ist die Landschaft vor

Veränderungen zu schützen, welche die Schönheit oder die nationale Bedeutung der Moorlandschaft beeinträchtigen. Sodann sind die für Moorlandschaften charakteristischen Elemente und Strukturen zu erhalten, namentlich geomorphologische Elemente, Biotope, Kulturelemente sowie die vorhandenen traditionellen Bauten und Siedlungsmuster (Bst. b).

- Schon seit Jahren ist das Bauvorhaben „KWO Plus“ vor den politischen und gerichtlichen Instanzen hängig. Die KWO plant eine Erhöhung der Staumauer des Grimselsees um 23 Meter, die zur Erweiterung des Nutzvolumens von 95 auf 170 Millionen Kubikmeter und zu einer Vergrösserung des Winteranteils der Stromproduktion führen würde. Nötig wäre auch die Verlegung eines Teilstücks der Strasse zum Grimselpass (NZZ vom 19. April 2007, S. 17). Nachdem die Berner Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion der KWO die Baubewilligung zur Vergrösserung des Stausees erteilt hatte, wurde diese Baubewilligung von Fischerei- und Umweltverbänden erfolgreich vor dem Verwaltungsgericht des Kantons Bern angefochten. Das Bundesgericht bestätigte dieses Urteil im Februar 2009. Die KWO wird für die eventuelle Realisierung des Projekts nicht um ein Konzessionsänderungsverfahren (mit Umsetzung der aktuellen Restwasservorschriften) herumkommen. Eine Streitfrage wird auch sein, ob der Bundesrat denjenigen Teil, der durch die Staumauererhöhung überflutet werden soll, vom Schutzperimeter des Moorlandschaftsgebiets, Nr. 268 Grimsel, ausnehmen durfte.



## 12 RELEVANZ UND EMPFEHLUNGEN FÜR STAKEHOLDER

---

Trotz verbleibender Unsicherheiten in Detailfragen ist absehbar, dass im Zuge der Klimaveränderung und des Gletscherschwundes in den folgenden Jahrzehnten zahlreiche neue Seen entstehen werden. Diese Seen werden für kommende Generationen wesentlicher Teil der Landschaft und des Lebensraums im Hochgebirge sein. Mit jedem zusätzlich entstehenden See steigt die sozioökonomische Relevanz des Phänomens. Der Umgang mit den entsprechenden Risiken und Chancen stellt eine absehbare und ernst zu nehmende Herausforderung dar. Um ihr sinnvoll zu begegnen, wird empfohlen,

- die wissenschaftlichen Grundlagen für die Modellierung zukünftiger Hochgebirgslandschaften „ohne Gletscher“ und entsprechender Prozessinteraktionen weiter zu verbessern;
- die Entwicklung von Schnee und Eis im Hochgebirge umfassend zu beobachten und die sich verändernden Gefahrenpotenziale mit Ansätzen der Szenariomodellierung und des integralen Risikomanagements laufend zu beurteilen;
- dem vorerst noch geringen jedoch stetig wachsenden Risiko weit reichender Flutwellen nach grossen Sturzereignissen in Seen angemessen Rechnung zu tragen;
- aufgrund von Modellrechnungen und Abklärungen von Schadenpotenzialen Übersichtskarten der potenziell gefährdeten Gebieten in Abhängigkeit des Entstehungszeitpunktes der Seen zu erstellen;

- ein gezieltes Monitoring für alpine Gebiete aufzubauen, insbesondere für die identifizierten kritischen Sektoren;
- das Potenzial der neuen Seen für die Wasserkraft – insbesondere hinsichtlich Pumpspeicherbetrieb und Sedimentrückhalt – einzuschätzen und bei der anstehenden Neukonzessionierung zu berücksichtigen;
- Möglichkeiten der Kombination von Energieproduktion und Hochwasserschutz (Retention) in die Planung mit einzubeziehen;
- abzuklären, wie weit die neuen Seen die bisherige Speicherfunktion der schwindenden Gletscher für die Wasserversorgung und die mittelfristig abnehmenden Zuflüsse zu den bestehenden Anlagen im Hochgebirge kompensieren können;
- die touristische Attraktivität der neuen Seen als Teilkompensation für den Verlust faszinierender Gletscherlandschaften zu nutzen;
- den durch Massnahmen der Gefahrenminimierung erhöhten Rentabilitätsdruck durch sorgfältige Priorisierung und Auswahl von Anpassungsmassnahmen bezüglich Wirksamkeit, Kosten/Nutzen, Dringlichkeit und Umsetzbarkeit zu beschränken;
- raumplanerische, organisatorische und bauliche Massnahmen zum Schutz von Menschen, Siedlungen und Infrastrukturen vor Gefahren durch die zuständigen Behörden bzw. Werkeigentümer rechtzeitig einzuleiten und umzusetzen (Vermeiden von Staatshaftung, zivilrechtlicher Haftung und strafrechtlichen Sanktionen wegen Unfällen, Schäden). Das Ziel soll primär die Risiko-reduktion (für Personen, Güter und Infrastruktur) sein;
- bei Nutzungsprojekten für die Stromproduktion Fragen zu wasserrechtlichen Konzessionen (Umfang, Erneuerung, Heimfall etc.) und zum Gewässerschutz (Restwassermengen, Schwall/Sunk, Gewässerraum etc.) zu beachten;

- Gefahrenpotenziale, Nutzungs- und Schutzinteressen im Einzelfall sorgfältig zu ermitteln;
- Konflikten mit Aspekten des Landschaftsschutzes durch rechtliche Abklärungen und frühzeitigen, umfassenden Diskurs über optimale Entwicklungsoptionen vorzubeugen; Verzicht auf Nutzungsprojekte in Landschafts- und anderen Schutzgebieten.

Die verbleibende Zeit für weitreichende Entscheidungen ist nur scheinbar lang (Jahre, Jahrzehnte). Je früher die anstehenden Fragen angegangen werden, desto mehr Freiheitsgrade bleiben für solche Entscheidungen.



## 13 LITERATURVERZEICHNIS

---

### 13.1 Seen und Naturrisiken

- Ammann, W.J. (2004) Die Entwicklung des Risikos infolge Naturgefahren und die Notwendigkeit eines integralen Risikomanagements. Gämmerli, W., Messerli, P., Meusburger, P. & H. Wanner (Hrsg.). *Alpenwelt-Gebirgswelten: Inseln, Brücken, Grenzen. Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen. 54. Deutscher Geographentag Bern 2003*. Heidelberg und Bern, pp.259–267.
- BAFU (2008) EconoMe [Internet]. Available from: <<http://www.econome.admin.ch/>> [Accessed 13 January 2011].
- BAFU (2005) Hinweiskarte der potentiellen Permafrostverbreitung der Schweiz [Internet]. Available from: <<http://umweltzustand.admin.ch/>> [Accessed 9 June 2011].
- BAFU & BABS (2007) RiskPlan Online – Ein Lern- und Planungsinstrument [Internet]. Available from: <<http://www.riskplan.admin.ch/>> [Accessed 13 January 2011].
- Blass, A., Anselmetti, F. & Ariztegui, D. (2003) 60 years of glaciolacustrine sedimentation in Steinsee (Sustenpass, Switzerland) compared with historic events and instrumental meteorological data. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 96 (Supplement 1), pp.59–71.
- Bründl, M., Romang, H.E., Bischof, N. & Rheinberger, C.M. (2009) The risk concept and its application in natural hazard risk management in Switzerland. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9 (3), pp.801–813. Available from: <<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/801/2009/nhess-9-801-2009.pdf>> [Accessed 26 February 2010].



- Bundesamt für Statistik (2009) *Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister – Merkmalskatalog, Version 3.5*. Neuenburg.
- Carey, M., Huggel, C., Bury, J., Portocarrero, C. & Haeberli, W. (2012) An Integrated Socio-Environmental Framework for Climate Change Adaptation and Glacier Hazard Management: Lessons from Lake 513, Cordillera Blanca, Peru. *Climatic Change*, 112 (3–4), pp.733–767.
- Clague, J.J. & Evans, S.G. (2000) A review of catastrophic drainage of moraine-dammed lakes in British Columbia. *Quaternary Science Reviews*, 19 (17–18), pp.1763–1783.
- Costa, J. & Schuster, R. (1988) The formation and failure of natural dams. *Geological Society of America Bulletin*, 100 (7), pp.1054–1068. Available from: <[http://www.fsl.orst.edu/wpg/events/S04/Costa\\_1988.pdf](http://www.fsl.orst.edu/wpg/events/S04/Costa_1988.pdf)> [Accessed 14 July 2010].
- Cutter, S.L., Boruff, B.J. & Shirley, W.L. (2003) Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 84 (2), pp.242–261.
- Dalban Canassy, P., Bauder, A., Dost, M., Fäh, R., Funk, M., Margreth, S., Müller, B. & Sugiyama, S. (2011) Hazard assessment investigations due to recent changes in Triftgletscher, Bernese Alps, Switzerland. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11 (8), pp.2149–2162. Available from: <<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/11/2149/2011/nhess-11-2149-2011.pdf>> [Accessed 21 October 2011].
- Davies, M.C.R., Hamza, O. & Harris, C. (2001) The effect of rise in mean annual temperature on the stability of rock slopes containing ice-filled discontinuities. *Permafrost and Periglacial Processes*, 12 (1), pp.134–144.
- EBP (2001) *Pragmatischer Ansatz zur vergleichenden Risikobeurteilung von Naturgefahren – Pilotprojekt mit Fallbeispielen*. Zollikon.
- Farinotti, D., Huss, M., Bauder, A. & Funk, M. (2009) An estimate of the glacier ice volume in the Swiss Alps. *Global and Planetary Change*, 68 (3), pp.225–231.

- Fischer, L. & Huggel, C. (2008) Methodical design for stability assessments of permafrost-affected high-mountain rock walls. Kane, D.L. and Hinkel, K.L. (Eds.). *Proceedings Ninth International Conference on Permafrost 2008*. Institute of Northern Engineering, University of Alaska, Fairbanks. Fairbanks, pp.439–444.
- Fischer, L., Amann, F., Moore, J.R. & Huggel, C. (2010) The 1988 Tschierwa rock avalanche (Piz Morteratsch, Switzerland): An integrated approach to periglacial rock slope stability assessment. *Engineering Geology*, 116, pp.32–43.
- Fischer, L. (2006) Monte Rosa Ostwand – Geologie, Vergletscherung, Permafrost und Sturzereignisse in einer hochalpinen Steilwand. *Bulletin für angewandte Geologie*, 11 (1), pp.65–78. Available from: <[http://www.alpinestudies.ch/tagungen/philalp06/abstracts/14\\_PhA.06\\_Fischer\\_Luzia.pdf](http://www.alpinestudies.ch/tagungen/philalp06/abstracts/14_PhA.06_Fischer_Luzia.pdf)> [Accessed 18 May 2011].
- Fischer, L., Purves, R.S., Huggel, C., Noetzli, J. & Haeberli, W. (2012) On the influence of topographic, geological and cryospheric factors on rock avalanches and rockfalls in high-mountain areas. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 12, pp.241–254. doi: 10.5194/nhess-12-241-2012.
- Frey, H., Haeberli, W., Linsbauer, A., Huggel, C. & Paul, F. (2010) A multi-level strategy for anticipating future glacier lake formation and associated hazard potentials. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10 (2), pp.339–352. Available from: <<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/10/339/2010/nhess-10-339-2010.html>> [Accessed 28 July 2010].
- Frey, H., Huggel, C., Paul, F. & Haeberli, W. (2009) Automated detection of glacier lakes and assessment of their associated hazard potentials based on remote sensing. Kaufmann, V. and Sulzer, W (Eds.). *Proceedings of the 10th International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography (HMRSC-X) 2008, Kathmandu*. Institute of Geography and Regional Science, Karl-Franzens-University of Graz.
- Funk, M. & Röthlisberger, H. (1989) Forecasting the effects of a planned reservoir that will partially flood the tongue of Unteraargletscher in Switzerland. *Annals of Glaciology*, 13, pp.76–80.

- GLACIORISK (2003) *Survey and prevention of extreme glaciological hazards in European mountain regions*. Fifth Framework Programme. Available from: <[http://glaciorisk.grenoble.cemagref.fr/sec6\\_GLACIORISK.pdf](http://glaciorisk.grenoble.cemagref.fr/sec6_GLACIORISK.pdf)> [Accessed 6 February 2012].
- Gruber, S. & Haeberli, W. (2007) Permafrost in steep bedrock slopes and its temperature-related destabilization following climate change. *Journal of Geophysical Research*, 112 (F2S18), p.10.
- Gruber, S., Hoelzle, M. & Haeberli, W. (2004) Permafrost thaw and destabilization of Alpine rock walls in the hot summer of 2003. *Geophysical Research Letters*, 31 (13), p.L13504.
- Haeberli, W. (1992) Construction, environmental problems and natural hazards in periglacial mountain belts. *Permafrost and Periglacial Processes*, 3 (2), pp.111–124.
- Haeberli, W. (1980) Morphodynamische Aspekte aktueller Gletscherhochwasser in den Schweizer Alpen. *Basler Geographische Hefte*, 20 (Regio Basiliensis, XXI/3), pp.58–78.
- Haeberli, W. (1983) Frequency and characteristics of glacier floods in the Swiss Alps. *Annals of Glaciology*, 4, pp.85–90.
- Haeberli, W. (1996) On the morphodynamics of ice/debris-transport systems in cold mountain areas. *Norsk Geografisk Tidsskrift – Norwegian Journal of Geography*, 50, pp.3–9.
- Haeberli, W. & Burn, C.R. (2002) Natural hazards in forests: glacier and permafrost effects as related to climate change. In: *Environmental Change and Geomorphic Hazards in Forests*. IUFRO Research Series. pp.167–202.
- Haeberli, W. & Fisch, W. (1984) Electrical resistivity soundings of glacier beds: a test study on Grubengletscher, Wallis, Swiss Alps. *Journal of Glaciology*, 30/106, pp.373–376.
- Haeberli, W. & Hoelzle, M. (1995) Application of inventory data for estimating characteristics of and regional climate-change effects on mountain glaciers: a pilot study with the European Alps. *Annals of Glaciology*, 21, pp.206–212.

- Haerberli, W. & Hohmann, R. (2008) Climate, glaciers and permafrost in the Swiss Alps 2050: scenarios, consequences and recommendations. Kane, D.L. and Hinkel, K.L. (Eds.). *Ninth International Conference on Permafrost*. Institute of Northern Engineering, University of Alaska, Fairbanks. Fairbanks, pp.607–612.
- Haerberli, W., Clague, J.J., Huggel, C. & Käab, A. (2010) Hazards from lakes in high-mountain glacier and permafrost regions: Climate change effects and process interactions. *Avances de la Geomorphología en España 2008–2010, XI Reunión Nacional de Geomorphología*. Solsana, pp.439–446.
- Haerberli, W., Hoelzle, M., Paul, F. & Zemp, M. (2007) Integrated monitoring of mountain glaciers as key indicators of global climate change: the European Alps. *Annals of Glaciology*, 46, pp.150–160. Available from: <[http://www.geo.uzh.ch/~mzemp/Docs/Haerberli\\_etal\\_AG46a119\\_2007.pdf](http://www.geo.uzh.ch/~mzemp/Docs/Haerberli_etal_AG46a119_2007.pdf)> [Accessed 28 July 2010].
- Haerberli, W., Portocarrero, C. & Evans, S. (2010) Nevado Hualcán, Laguna 513 y Carhuaz 2010 – Observaciones, evaluación y recomendaciones (un corto informe técnico luego de las reuniones y visita de campo en Julio 2010). Unpublished report on behalf of the Comunidad Provincial de Carhuaz.
- Haerberli, W., Wegmann, M. & Vonder Mühl, D. (1997) Slope stability problems related to glacier shrinkage and permafrost degradation in the Alps. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 90 (3), pp.407–414.
- Haerberli, W., Huggel, C., Käab, A., Gruber, S., Noetzli, J. & Zraggen-Oswald, S. (2006) Development and perspectives of applied research on glacier and permafrost hazards in high-mountain regions – the example of Switzerland. *Proceedings of the International Conference on High Mountain Hazard Prevention, June 23–26, 2004*. Vladikavkaz/Moscow, pp.219–228.
- Haerberli, W., Schleiss, A., Linsbauer, A., Künzler, M. & Bütler, M. (2012) Gletscherschwund und neue Seen in den Schweizer Alpen – Perspektiven und Optionen im Bereich Naturgefahren und Wasserkraft. *Wasser Energie Luft*, 104 (2), pp.93–101.

- Harris, C., Arenson, L.U., Christiansen, H.H., Etzelmüller, B., Frauenfelder, R., Gruber, S., Haeberli, W., Hauck, C., Hölzle, M., Humlum, O., Isaksen, K., Kääb, A., Kern-Lütschg, M.A., Lehning, M., Matsuoka, N., Murton, J.B., Nötzli, J., Phillips, M., Ross, N., Seppälä, M., Springman, S.M. & Vonder Mühll, D. (2009) Permafrost and climate in Europe: Monitoring and modelling thermal, geomorphological and geotechnical responses. *Earth-Science Reviews*, 92 (3-4), pp.117–171. Available from: <<http://www.bgcengineering.com/files/publications/la-2009-harrisetal.earthscirev.pdf>> [Accessed 6 December 2009].
- Hegglin, E. & Huggel, C. (2008) An Integrated Assessment of Vulnerability to Glacial Hazards. *Mountain Research and Development*, 28 (3), pp.299–309.
- Huggel, C. (2009) Recent extreme slope failures in glacial environments: effects of thermal perturbation. *Quaternary Science Reviews*, 28 (11–12), pp.1119–1130.
- Huggel, C., Haeberli, W. & Kääb, A. (2008) Glacial hazards: perceiving and responding to threats in four world regions. *Darkening Peaks: Glacier Retreat, Science, and Society*, pp.68–80.
- Huggel, C., Haeberli, W., Kääb, A., Bieri, D. & Richardson, S. (2004) An assessment procedure for glacial hazards in the Swiss Alps. *Canadian Geotechnical Journal*, 41, pp.1068–1083. Available from: <[http://folk.uio.no/kaeab/publications/huggel\\_cgt04.pdf](http://folk.uio.no/kaeab/publications/huggel_cgt04.pdf)> [Accessed 4 August 2010].
- Huggel, C., Kääb, A. & Haeberli, W. (2003) Regional-scale models of debris flows triggered by lake outbursts: the 25 June 2001 debris flow at Täsch (Switzerland) as a test study. In: *Rickenmann, D. & Chen, C.L. (Eds.), Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment. Proceedings of the Third International DFHM Conference, Davos, Switzerland, September 10–12, 2003*. Millpress Science Publishers, Rotterdam, pp.1151–1162.

- Huggel, C., Kääb, A., Haeberli, W. & Krummenacher, B. (2003) Regional-scale GIS-models for assessment of hazards from glacier lake outbursts: evaluation and application in the Swiss Alps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3 (6), pp.647–662. Available from: <<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/3/647/2003/nhess-3-647-2003.pdf>> [Accessed 13 January 2010].
- Humbel, P. (2011) Alpine Gletschervorfelder: Eine morphologische Analyse im Hinblick auf felsgestaute Seen. Masterarbeit, Geographisches Institut, Universität Zürich.
- Huss, M., Bauder, A., Funk, M. & Hock, R. (2008) Determination of the seasonal mass balance of four Alpine glaciers since 1865. *Journal of Geophysical Research*, 113 (F01015), p.F01015.
- Huss, M., Juvet, G., Farinotti, D. & Bauder, A. (2010) Future high-mountain hydrology: a new parameterization of glacier retreat. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14 (5), pp.815–829. Available from: <<http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/14/815/2010/hess-14-815-2010.pdf>> [Accessed 3 December 2010].
- IPCC (2007) *Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. Averyt, M. Tignor, & H.L.R. Miller (Eds.). Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Available from: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>> [Accessed 6 February 2012].
- Juvet, G., Huss, M., Funk, M. & Blatter, H. (2011) Modelling the retreat of Grosser Aletschgletscher, Switzerland, in a changing climate. *Journal of Glaciology*, 57 (206), pp.1033–1045.
- Kääb, A. & Haeberli, W. (2001) Evolution of a high-mountain thermokarst lake in the Swiss Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 33 (4), pp.385–390.

- Kääb, A., Huggel, C., Barbero, S., Chiarle, M., Cordola, M., Epifani, F., Haeberli, W., Mortara, G., Semino, P. & Tamburini, A. (2004) Glacier hazards at Belvedere glacier and the Monte Rosa east face, Italian Alps: Processes and mitigation. In: *Tenth International Symposium Interpreavent 2004*. Riva, Italy, pp.67–78.
- Kääb, A., Huggel, C., Fischer, L., Guex, S., Paul, F., Roer, I., Salzmann, N., Schlaefli, S., Schmutz, K., Schneider, D., Strozzi, T. & Weidmann, Y. (2005) Remote sensing of glacier- and permafrost-related hazards in high mountains: an overview. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5 (4), pp.527–554. Available from: <[http://folk.uio.no/kaeaeb/publications/kaab\\_nhess\\_low.pdf](http://folk.uio.no/kaeaeb/publications/kaab_nhess_low.pdf)> [Accessed 22 December 2010].
- Kääb, A., Reynolds, J.M. & Haeberli, W. (2005) Glaciers and permafrost hazards in high mountains. *Global Change and Mountain Regions – An overview of current knowledge*, pp.225–234.
- Kershaw, J.A., Clague, J.J. & Evans, S.G. (2005) Geomorphic and sedimentological signature of a two-phase outburst flood from moraine-dammed Queen Bess Lake, British Columbia, Canada. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30 (1), pp.1–25.
- Keusen, H.R. & Pfeifer, R. (2005) *Gadmen, Triftgletscher, Seevermessung vom 22.9.2005*. Geotest, Zollikofen.
- Korup, O. & Tweed, F. (2007) Ice, moraine, and landslide dams in mountainous terrain. *Quaternary Science Reviews*, 26 (25–28), pp.3406–3422. Available from: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379107002909>> [Accessed 29 March 2010].
- van der Linden, P. & Mitchell, J.F.B. (2009) *ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project*. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK.
- Linsbauer, A., Paul, F., Hoelzle, M., Frey, H. & Haeberli, W. (2009) The Swiss Alps Without Glaciers – A GIS-based Modelling Approach for Reconstruction of Glacier Beds. *Proceedings of Geomorphometry*. Zürich, pp.243–247.

- Linsbauer, A., Paul, F. & Haeberli, W. (2012) Modeling glacier thickness distribution and bed topography over entire mountain ranges with GlabTop: Application of a fast and robust approach. *Journal of Geophysical Research*, 117, p.F03007.
- Lüthi, M.P., Bauder, A. & Funk, M. (2010) Volume change reconstruction of Swiss glaciers from length change data. *Journal of Geophysical Research*, 115, pp.F04022. Available from: <<http://people.ee.ethz.ch/~luethim/pdf/JGR2010Luethi.pdf>> [Accessed 3 December 2010].
- Maisch, M., Haeberli, W., Hoelzle, M. & Wenzel, J. (1999) Occurrence of rocky and sedimentary glacier beds in the Swiss Alps as estimated from glacier-inventory data. *Annals of Glaciology*, 28, pp.231–235.
- Nakicenovic, N. & Swart, R. (2000) *Special Report on Emissions Scenarios: a special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Noetzli, J. & Gruber, S. (2009) Transient thermal effects in Alpine permafrost. *The Cryosphere*, 3, pp.85–99.
- Noetzli, J., Gruber, S., Kohl, T., Salzmann, N. & Haeberli, W. (2007) Three-dimensional distribution and evolution of permafrost temperatures in idealized high-mountain topography. *Journal of Geophysical Research*, 112, p.F2.
- Noetzli, J., Huggel, C., Hoelzle, M. & Haeberli, W. (2006) GIS-based modelling of rock-ice avalanches from Alpine permafrost areas. *Computational Geosciences*, 10 (2), pp.161–178.
- Nussbaumer, S. (2011) Modellierung von Landnutzungsszenarien für Risikoabschätzungen von Flutwellen aus zukünftigen hochalpinen Seen in der Schweiz. University of Zurich, Department of Geography.
- OcCC (2007) *Klimaänderung und die Schweiz 2050 – Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft*. Bern.
- Oerlemans, J. (2005) Extracting a climate signal from 169 glacier records. *Science*, 308, pp.675–677.



- Oerlemans, J. (2001) *Glaciers and Climate Change*. A.A. Balkema Publishers, Lisse.
- Oerlemans, J., Anderson, B., Hubbard, A., Huybrechts, P., Johannesson, T., Knap, W.H., Schmeits, M., Stroeve, A.P., Van de Wal, R.S.W. & Wallinga, J. (1998) Modelling the response of glaciers to climate warming. *Climate Dynamics*, 14 (4), pp.267-274.
- Oerlemans, J., Giesen, R.H. & Broeke, M.R. van den (2009) Retreating alpine glaciers: increased melt rates due to accumulation of dust (Vadret da Morteratsch, Switzerland). *Journal of Glaciology*, 55, pp.729–736. Available from: <http://people.ee.ethz.ch/~funk/Projektarbeit2010/oerlemans2009.pdf> [Accessed 22 December 2010].
- Ohmura, A. (2001) Physical basis for the temperature-based melt-index method. *Journal of Applied Meteorology*, 40 (4), pp.753–761.
- Oppikofer, T., Jaboyedoff, M. & Keusen, H.R. (2008) Collapse at the eastern Eiger flank in the Swiss Alps. *Nature Geoscience*, 1 (8), pp.531–535.
- Paterson, W.S.B. (1994) *The Physics of Glaciers*. Elsevier, Oxford, New York, Tokio.
- Paul, F. & Haeberli, W. (2008) Spatial variability of glacier elevation changes in the Swiss Alps obtained from two digital elevation models. *Geophysical Research Letters*, 35 (21), p.L21502.
- Paul, F., Kääb, A. & Haeberli, W. (2007) Recent glacier changes in the Alps observed by satellite: consequences for future monitoring strategies. *Global and Planetary Change*, 56 (1–2), pp.111–122.
- Paul, F., Machguth, H. & Kääb, A. (2005) On the impact of glacier albedo under conditions of extreme glacier melt: the summer of 2003 in the Alps. *EAR-SeL eProceedings*, 4 (2), pp.139–149.
- Paul, F., Maisch, M., Rothenbühler, C., Hoelzle, M. & Haeberli, W. (2007) Calculation and visualisation of future glacier extent in the Swiss Alps by means of hypsographic modelling. *Global and Planetary Change*, 55 (4), pp.343–357.

- Paul, F. & Linsbauer, A. (2012) Modeling of glacier bed topography from glacier outlines, central branch lines, and a DEM. *International Journal of Geographical Information Science*, 26 (7), pp.1173-1190.
- PLANAT (2008) *Risikoaversion. Entwicklung systematischer Instrumente zur Risiko- bzw. Sicherheitsbeurteilung. Zusammenfassender Bericht*. Bern, Nationale Plattform Naturgefahren.
- PLANAT (2009) *Risikokonzept für Naturgefahren – Leitfaden (Version Feb. 2009)*. Bern, Nationale Plattform Naturgefahren.
- PLANAT (2002) *Sicherheit vor Naturgefahren – Vision und Strategie*. Biel, Nationale Plattform Naturgefahren.
- Ravanel, L. & Deline, P. (2010) Climate influence on rockfalls in high-Alpine steep rockwalls: The north side of the Aiguilles de Chamonix (Mont Blanc massif) since the end of the “Little Ice Age.” *The Holocene*, 21 (2), pp.357–365.
- Raymond, M., Wegmann, M. & Funk, M. (2003) *Inventar der gefährlichen Gletscher in der Schweiz. Mitteilung Nr. 182 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich*.
- Risknet (2004) ON-Regelwerk “Risikomanagement” des Österreichischen Normungsinstituts. Available from: <<https://www.risknet.de/wissen/grundlagen/risk-management-standards/on-regelwerk-risikomanagement-des-oesterreichischen-normungsinstituts/>> [Accessed 22 December 2010].
- Risknet (2005) Risk Management Down Under – Die australisch-neuseeländische Risikomanagementnorm AS/NZS 4360. Available from: <<https://www.risknet.de/wissen/grundlagen/risk-management-standards/die-australisch-neuseelaendische-risikomanagement-norm-asnzs-4360/>> [Accessed 22 October 2010].
- Romstad, B., Harbitz, C.B. & Domaas, U. (2009) A GIS method for assessment of rock slide tsunami hazard in all Norwegian lakes and reservoirs. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9 (2), pp.353–364. Available from: <<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/353/2009/nhess-9-353-2009.pdf>> [Accessed 25 November 2010].

- Schaub, Y., Haeberli, W., Huggel, C., Künzler, M. & Bründl, M. (in press): Landslides and new lakes in deglaciating areas: a risk management framework. *Proceedings of the Second World Landslide Forum – October 2011, Rome, Italy*.
- Scheidegger, A.E. (1973) On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 5 (4), pp.231–236.
- Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie (SGHL) und Hydrologische Kommission (CHy) ed. (2011) Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung – Synthesebericht. *Beiträge zur Hydrologie der Schweiz*, 38, pp.1–28.
- Serraino, M. (2011) Fels- und Eisstürze in Hochgebirgsseen der Schweizer Alpen - Eine GIS-basierte Analyse von Gefahrenpotenzialen im 21. Jahrhundert. Masterarbeit, Geographisches Institut, Universität Zürich.
- Städelin, P. (2008) Integrative Prozessanalysen am Unteren Grindelwaldgletscher: Aktuelle Probleme und zukünftige Szenarien. Masterarbeit, Geographisches Institut, Universität Zürich.
- swisstopo (2007) *VECTOR25 – Das digitale Landschaftsmodell der Schweiz, Produktinformation*.
- UNEP (2007) *Global Outlook for Ice and Snow*. UNEP/GRID-Arendal, Norway.
- Vincent, C., Auclair, S. & Meur, E.L. (2010) Outburst flood hazard for glacier-dammed Lac de Rochemelon, France. *Journal of Glaciology*, 56, pp.91–100. Available from: <<http://lgge.obs.ujf-grenoble.fr/article425.html?lang=en>> [Accessed 28 July 2010].
- Watson, R. & Haeberli, W. (2004) Environmental threats, mitigation strategies and high-mountain areas. *Ambio Special Report*, 13, pp.2–10.
- Werder, M.A., Bauder, A., Funk, M. & Keusen, H.-R. (2010) Hazard assessment investigations in connection with the formation of a lake on the tongue of Unterer Grindelwaldgletscher, Bernese Alps, Switzerland. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10 (2), pp.227–237.

- WGMS (2008) *Fluctuations of Glaciers 2000–2005*. W. Haeberli, M. Zemp, A. Kääb, F. Paul, & M. Hoelzle (Eds.). World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland, ICSU(FAGS)/IUGG(IACS)/UNEP/UNESCO/WMO.
- WGMS (1989) *World glacier inventory – status 1988*. W. Haeberli, H. Bösch, K. Østrem, & G. Wallén (Eds.). Zurich, IAHS(ICSU)/UNEP/UNESCO/World Glacier Monitoring Service.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T. & Davis, I. (2004) *At Risk – Natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Routledge, London and New York.
- Zemp, M., Haeberli, W., Hoelzle, M. & Paul, F. (2006) Alpine glaciers to disappear within decades? *Geophysical Research Letters*, 33 (13), p.L13504.
- Zemp, M., Kääb, A., Hoelzle, M. & Haeberli, W. (2005) GIS-based modelling of glacial sediment balance. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 138, pp.113–129.
- Zumbühl, H.J., Steiner, D. & Nussbaumer, S.U. (2008) 19th century glacier representations and fluctuations in the central and western European Alps: An interdisciplinary approach. *Global and Planetary Change*, 60 (1–2), pp.42–57.
- Zwick, M.M. (2006) Risk as perceived and evaluated by the general public. In: *Risk 21 – Coping with risks due to natural hazards in the 21st century* (edited by W.J. Ammann, S. Dannenmann, L. Vulliet). London, Taylor & Francis/Balkema, pp.89–100.

## 13.2 Hydroelektrisches Potenzial

- Bieri, M., Schleiss, A.J. & Fankhauser, A. 2010. Modelling and simulation of floods in alpine catchments equipped with complex hydropower schemes. In A. Dittrich, Ka. Koll, J. Aberle & P. Geisenhainer (eds), International Conference on Fluvial Hydraulics (River Flow 2010), Proc., Braunschweig, Germany, 8–10 September 2010, pp. 1421–1428. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.
- Bieri, M., Schleiss, A., Jordan, F., Frankhauser, A. & Ursin, M. 2011a. Flood retention in alpine catchments equipped with complex hydropower schemes – a case study of the upper Aare catchment in Switzerland. In A. Schleiss & R. Boes (eds), Dams and Reservoirs under changing challenges, 79<sup>th</sup> Annual Meeting ICOLD, Proc., Lucerne, Switzerland: 387–394. Leiden: CRC Press.
- Bieri, M. & Schleiss, A.J. 2011b. Modelling and analysis of hydropeaking in alpine catchments equipped with complex hydropower schemes. In E. Valentine, C. Apelt, J. Ball, H. Chanson, R. Cox, R. Ettema, G. Kuczera, M. Lambert, B. Melville & J. Sargison (eds), 34<sup>th</sup> IAHR World Congress, Proc., Brisbane, Australia, 26 June–1 July 2011: 2752–2759. Barton: Engineers Australia.
- Bieri, M., Schleiss, A. J., “Analysis of flood-reduction capacity of hydropower schemes in an Alpine catchment area by semidistributed conceptual modeling”, *Journal Flood Risk Management*, November 2012, DOI : 10.1111/j.1753-318X.2012.01171.x, 1-6.
- Bosshard, T., Kotlarski, S., Ewen, T., & Schär, C. 2011. Spectral representation of the annual cycle in the climate change signal. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15: 2777–2788.
- Clague, J.J. & Evans, S.G. 2000. A review of catastrophic drainage of moraine-dammed lakes in British Columbia. *Quaternary Science Reviews* 19(17–18): 1763–1783.
- Farinotti, D. 2010. Simple methods for inferring glacier-thickness and snow accumulation distribution. *Mitteilung VAW* Nr. 215.

- Farinotti, D., Huss, M., Bauder, A., Funk, M. & Truffer, M. 2009a. A method to estimate ice volume and ice thickness distribution of Alpine glaciers. *Journal of Glaciology* 55(151): 422–430.
- Farinotti, D., Huss, M., Bauder, A. & Funk, M. 2009b. An estimate of the glacier ice volume in the Swiss Alps. *Global and Planetary Change* (68): 225–231.
- Garcia, J., Jordan, F., Dubois, J. & Boillat, J.-L. 2007. Routing System II, Modélisation d'écoulements dans des systèmes hydrauliques. In A. Schleiss (ed.), *Communication LCH n° 32*. Lausanne: EPFL.
- Glaciological reports 1881–2009. The Swiss Glaciers, 1880–2004/05. Technical Report 1-126, Yearbooks of the Cryospheric Commission of the Swiss Academy of Sciences (SCNAT). published since 1964 by Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW) of ETH Zürich, <http://glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers/>.
- Haeberli, W. & Hoelzle, M. 1995. Application of inventory data for estimating characteristics of and regional climate-change effects on mountain glaciers: a pilot study with the European Alps. *Annals of Glaciology* 21: 206–212.
- Haeberli, W., Kääb, A., Vonder Mühll, D. & Teyssie, P. 2001. Prevention of outburst floods from periglacial lakes at Grubengletscher, Valais, Swiss Alps. *Journal of Glaciology* 47(156): 111–122.
- Haeberli, W., Clague, J.J., Huggel, C. & Kääb, A. 2010. Hazards from lakes in high-mountain glacier and permafrost regions: Climate change effects and process interactions. In X. Úbeda, D. Vericat & R.J. Batalla (eds), *Avances de la Geomorfología en España 2008–2010 – XI Reunión Nacional de Geomorfología*; Proc., Solsona, 20–24 september 2010. Solsona: CTFC.
- Huggel, C., Haeberli, W., Kaab, A., Bieri, D. & Richardson, S. 2004. An assessment procedure for glacial hazards in the Swiss Alps. *Canadian Geotechnical Journal* 41(6): 1068–1083.
- Huss, M., Farinotti, D., Bauder, A. & Funk, M. 2008. Modelling runoff from highly glacierized alpine drainage basins in a changing climate, *Hydrological Processes* 22(19): 3888–3902.

- Jordan, F. 2007. Modèle de prévision et de gestion des crues - optimisation des opérations des aménagements hydroélectriques à accumulation pour la réduction des débits de crue, In A. Schleiss (ed.), Communication LCH n° 29. Lausanne: EPFL.
- Jordan, F. & Heller, P. 2009. swissrivers.ch: une nouvelle plateforme de prévision des débits des rivières suisses, *Journal du Génie Biologique*, 2009(2): 22–26.
- Jordan, F. & Heller, P. 2010. swissrivers.ch: a tool for predicting the mini-hydropower production of Switzerland. *Hidroenergia 2010, Proc.*, Lausanne, Switzerland, 16–19 June 2010.
- Keller, R. 2009. Le débit des rivières au peigne fin. *Revue Technique Suisse* 2009(7/8): 11.
- Lemke, P., Ren, J., Alley, R., Allison, I., Carrasco, J., Flato, G., Fujii, Y., Kaser, G., Mote, P., Thomas, R. & Zhang, T. 2007. Observations: Changes in Snow, Ice and Frozen Ground. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (eds), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*: 337–383. Cambridge: Cambridge University Press.
- Linsbauer, A., Paul, F., Hoelzle, M., Frey, H. & Haeberli, W. 2009. The Swiss Alps Without Glaciers – A GIS-based Modeling Approach for Reconstruction of Glacier Beds. In *Proceedings of Geomorphometry, Zurich, 31 August–2 September 2009*.
- Nash, J.E. & Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models, part 1 – A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, 10(3): 282–290.
- Paul, F., Maisch, M., Rothenbühler, C., Hoelzle, M. & Haeberli, W. 2007. Calculation and visualisation of future glacier extent in the Swiss Alps by means of hypsographic modeling. *Global and Planetary Change* 55(4): 343–357.

- Schaefli, B., Hingray, B., Niggly, M. & Musy, A. 2005. A conceptual glacio-hydrological model for high mountainous catchments. *Hydrology and earth system sciences* 9: 95–109.
- Terrier, S., Jordan, F., Schleiss, A., Haeberli, W., Huggel, C. & Künzler, M. 2011. Optimized and adapted hydropower management considering glacier shrinkage scenarios in the Swiss Alps. In A. Schleiss & R. Boes (eds), *Dams and Reservoirs under changing challenges*, 79<sup>th</sup> annual meeting ICOLD, Proc., Lucerne, Switzerland: 497-508. Leiden: CRC Press.
- VAW Bericht Nr. 55.05.7903, 1998. Mauvoisin – Giétroglletscher – Corbassière-regletscher, Glaziologische Studie im Zusammenhang mit den Stauanlagen Mauvoisin. Im Auftrag der Elektrizitätsgesellschaft Laufenburg AG.
- UNEP 2007. *Global outlook for ice & snow*. Arendal:UNEP/GRID.
- Zemp, M., Haeberli, W., Bajracharya, S., Chinn, T.J., Fountain, A.G., Hagen, J.O., Huggel, C., Kääb, A., Kaltenborn, B.P., Karki, M. & others. 2007. *Glaciers and ice caps. Part I: Global overview and outlook. Part II: Glacier changes around the world*. In UNEP (ed.), *Global outlook for ice & snow*: 115–152. Arendal: UNEP/GRID.
- Zemp, M., Roer, I., Kääb, A., Hoelzle, M., Paul, F. & Haeberli, W. 2008. *Global glacier changes: facts and figures*. Zurich:UNEP / WGMS.



### 13.3 Tourismus

Aall, C. & Hoyer, K. (2005) Tourism and climate change adaptation: The Norwegian case. In: *Hall, M. & Higham, J.: Tourism, Recreation and Climate Change, Aspects of Tourism 22*. Clevedon, pp. 209–221.

BAFU (Bundesamt für Umwelt) (1998) Landschaft zwischen gestern und morgen. Grundlagen zum Landschaftskonzept Schweiz LKS. Bern.

Bebi, P., Kytzia, S., Lundström, C. et al. (2005) Simulation und Bewertung von Zukunftsszenarien Alpiner Regionen. Am Beispiel der Landschaft Davos. Projekt ALPSCAPE im NFP 48 „Landschaften und Lebensräume der Alpen“. Davos.

Berwert, A. & de Bary, A. (2005) Schlussbericht – Empirische Ermittlung von Tourismusanteilen einzelner Wirtschaftszweige. Tourismusgemeinden der Region Berner Oberland. Rüschlikon.

Econcept & Seco (2002) Plausibilisierung Nutzenschätzung Landschaft für den Tourismus. o.O.

EconoMe (2011) EconoMe 1.0 Objektparameter. Bern.

Fankhauser, S. (1998) The costs of adapting to climate change. *Working Paper 16*, Global Environment Facility. Washington, DC.

fsi (2009) Die Naturkatastrophe als Touristenmagnet. *NZZ vom 12./13. September 2009*, Nr. 211.

Grêt-Regamey, A. & Bebi, P. (2004) Ökonomische Bewertung von jetzigen und zukünftigen Landschaften in Tourismusregionen. *Projekt ALPSCAPE im NFP 48 "Landschaften und Lebensräume der Alpen"*. Davos.

Grimselwelt (o. J.) Grimselerlebnis. Innertkirchen.

Grindelwald Tourismus (2008) 124. Jahresbericht 2008. Grindelwald.

Grosjean, G. (1986) Ästhetische Bewertung ländlicher Räume am Beispiel von Grindelwald im Vergleich mit anderen schweizerischen Räumen und in zeitlicher Veränderung. MAB-Programm. Bern.

Grünberg, K.-U. & Martin, D. (2009) Sicherung der Vielfalt, Eigenart und Schönheit von Natur und Landschaft als Voraussetzung für Erholung. In: *Riedel, W. & Lange, H.: Landschaftsplanung*, 2. Aufl., Heidelberg, pp. 73–76.

GVB (Gebäude Versicherung Bern) (2011) Berner Berghütten. Die schönsten Seiten des Kantons Bern, Band 18. Bern.

GVB (Gebäude Versicherung Bern) (o. J.) Ihr Gebäude ist bei der GVB versichert – Wichtige Hinweise bei Schäden durch Hagel, Sturmwind und Überschwemmung. Bern.

Hählen, N. (2008) Gletschersee Grindelwald – Abschätzung Schadenpotenzial, Tiefbauamt des Kantons Bern, Oberingenieurkreis I Thun.

Hellbrück, J. & Fischer, M. (1999) Umweltpsychologie. Göttingen.

Hunziker, M., Clivaz, C. & Siegrist, D. (ed.) (2007) Monitoring and management of visitor flows in recreational and protected areas. *Swiss Federal Research Institute WSL Birmensdorf, Vol. 81 (1/2)*. Bern Stuttgart Vienna.

Jacquemart, M. (2010) Achtung, Steinschlag. Rasante Veränderungen im Gebirge machen Hochtouren im Sommerhalbjahr zunehmend schwieriger. *NZZ vom 08. Oktober 2010*, Nr. 234.

Kaplan, R. & Kaplan, S. (1989) The Experience of Nature. A Psychological Perspective. New York.

Müller, H.R. (2007) Tourismus und Ökologie. Wechselwirkungen und Handlungsempfehlungen. Bern.

Müller, H.R. & Lehmann, T. (2011) Der Schweizer Tourismus im Klimawandel. Auswirkungen und Handlungsoptionen. Bern.

Müller, H.R. & Weber, F. (2007) Klimaänderung und Tourismus – Szenarienanalyse für das Berner Oberland 2030. Bern.

Nolte, B. (2004) Landschaftsbewertung für Tourismus und Freizeit: Fallstudie Mecklenburg-Vorpommern. In: *Becker, C., Hopfinger, H. & Steinecke, A. (Hrsg.): Geographie der Freizeit und des Tourismus. Bilanz und Ausblick. 2. Aufl., München*, pp. 475–485.

Nöthiger, C. (2000) Der Lawinenwinter 1999. Fallstudie Elm (Kanton Glarus). Indirekte Auswirkungen auf die lokale Wirtschaft. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF. Davos.

Nöthiger, C. (2003) Naturgefahren und Tourismus in den Alpen. Untersucht am Lawinenwinter 1999 in der Schweiz, WSL, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF. Davos.

Penning-Rowsell, E.C. (1982) A public preference evaluation of landscape quality. *Regional Studies* 16:2, pp. 97–112.

Pontresina Tourismus (2011) Fakten und Zahlen von Pontresina. Pontresina.

Pontresina Tourismus (2012) Jahresbericht Pontresina Tourismus 2010/11. Informationen, Fakten, Zahlen. Pontresina.

Pötke, P. M. (1979) Der Freizeitwert einer Landschaft. Quantitative Methode zur Bewertung einer Landschaft für Freizeit und Erholung. Trier.

Rothenbühler, C. (2006) GISALP Räumlich-zeitliche Modellierung der klimasensitiven Hochgebirgslandschaft des Oberengadins. Samedan.

Rütter, H., Müller, H.R., Guhl, D. & Stettler, J. (1995) Tourismus im Kanton Bern. Wertschöpfungsstudie. Bern.

Scott, D. & Jones, B. (2005) Climate change and Banff National Park – implications for tourism and recreation. *Faculty of Environmental Studies, University of Waterloo, Ontario, Canada*.

- Scheurer, R. (2003) Erlebnis-Setting: Touristische Angebotsgestaltung in der Erlebnisökonomie. Bern.
- Schober, R. (1995) Kreative Wege zum besseren Angebot – Eine Planungshilfe für Tourismus-Praktiker. München.
- Schweiz aktuell (2010) Gletscherschwund am Berninamassiv. *Sendung Schweiz aktuell vom 15.09.2010*.
- Sicherheitsinstitut (2006) Hochwasserschäden vermeiden, Schweizerisches Institut zur Förderung der Sicherheit, Zürich.
- Stauffer & Studach Raumentwicklung (2011a) Regionaler Richtplan Oberengadin. Öffentliche Auflage. Einleitung. Chur.
- Stauffer & Studach Raumentwicklung (2011b) Regionaler Richtplan Oberengadin. Öffentliche Auflage. Raumkonzept. Chur.
- Stettler, M. (2004) Landschaftsentwicklung: Einflussfaktoren, Wahrnehmung und Bewertung durch die lokalen Akteure, Lösungsansätze. Das Fallbeispiel Gründlischwand. Bern.
- STV (Schweizer Tourismus-Verband) (2011) Schweizer Tourismus in Zahlen. Struktur- und Branchendaten. Bern.
- Tangerini A., Pictet J. & Soguel, N. (2005) Using A MultiPLE criteria Decision Analysis approach for Landscape Quality Assessment. *Projekt SCHATTENPREISE im NFP 48 "Landschaften und Lebensräume der Alpen"*. Lausanne.
- Vuilleumier, B. & Neff, C. (2008) Verkannte Gletscher? Gletscherschwund in der Wahrnehmung der Schweizer Gletscher-Gemeinden. Stiftung Landschaftsschutz (SL), Bern.
- Weber, Fabian (2007) Naturereignisse und Tourismus. Einfluss und Auswirkungen von Naturereignissen auf die Entwicklung des Tourismus im Alpenraum. Bern.

Wiesmann, U. (1995) Nachhaltige Ressourcennutzung im regionalen Entwicklungskontext. Konzeptionelle Grundlagen zu deren Definition und Erfassung. Gruppe für Entwicklung und Umwelt (GfEU). Bern.

Elektronische Quellen:

BFS (Bundesamt für Statistik) (2010) Hotellerie: Angebot und Nachfrage der geöffneten Betriebe nach Gemeinde.

<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/10/03/blank/key/01/04.html>  
(24.09.2010)

Grindelwald (2010) Allgemeine Fakten.

<http://www.gemeindegrindelwald.ch/pages/de/Einwohnerzahlen.html> (24.09.2010)

Oberaletsch (2011) Panoramaweg. <http://www.oberaletsch.ch/de/sommer/bau-panoramaweg/> (31.10.2011)

Pontresina (2011) Fakten und Zahlen.

<http://www.pontresina.ch/sommer/pontresina/portrait/fakten-und-zahlen.html>  
(09.10.11)

## 13.4 Recht

- Bundesamt für Raumentwicklung, Bundesamt für Wasser und Geologie & Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2005) Empfehlung Raumplanung und Naturgefahren, Bern.
- Bundesamt für Strassen & Schweizer Wanderwege (2009) Bau und Unterhalt von Wanderwegen, Handbuch, Vollzugshilfe Langsamverkehr Nr. 9, Bern.
- Bundesamt für Strassen & Schweizer Wanderwege (2008) Signalisation Wanderwege, Handbuch, Vollzugshilfe Langsamverkehr Nr. 6, Bern.
- Bundesamt für Umwelt (2007) Heft Umwelt 2/2007, Naturgefahren, Prävention zahlt sich aus.
- Bundesamt für Wasser und Geologie (2004) Hochwasservorsorge, Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 6, Bern.
- Bütler, M. (2010) Erschliessung und Ausbau von Skigebieten aus rechtlicher Sicht, in: Umweltrecht in der Praxis, 4/2010, S. 411–457.
- Bütler, M. (2006) Gletscher im Blickfeld des Rechts, Zürcher Diss., Abhandlungen zum schweizerischen Recht, Nr. 725, Bern.
- Bütler, M. (2009) Zur Haftung von Werkeigentümern und Tierhaltern bei Unfällen auf Wanderwegen, Sicherheit & Recht 2/2009, S. 106–124.
- Bütler, M. & Sutter, P. (2007) Verkehrssicherungspflichten gegen Steinschlag auf Strassen, in: Schweizerisches Zentralblatt für Staats- und Verwaltungsrecht, 108. Jg. 9/2007, S. 469–492.
- Govoni, M. (2008) Rechtliche Aspekte des integralen Risikomanagements beim Schutz vor Hochwasser, Sicherheit & Recht 2/2008, S. 103–115.
- Govoni, M. (2011) Verbesserung der Warnung vor Naturgefahren – Revision der Alarmierungsverordnung, Sicherheit & Recht 1/2011, S. 45–50.
- Gross, J. (2001) Schweizerisches Staatshaftungsrecht, 2. Aufl., Bern.

- Häfelin, U., Müller, G. & Uhlmann, F. (2006) Allgemeines Verwaltungsrecht, 5. Aufl., Zürich.
- Häner, I. (2011) Das Ende des Konzessionsverhältnisses, in: Häner, I. & Waldmann, B., Die Konzession, Zürich Basel Genf, S. 89–104.
- Hänni, P. (2008) Planungs-, Bau- und besonderes Umweltschutzrecht, 5. Aufl., Bern.
- Hepperle, E. (2009) Rechtszersplitterung im Bereich der Naturgefahren – Missstand oder Chance? Standpunkt, in: Sicherheit & Recht 3/2009, S. 155–158.
- Hepperle, E. (2011) Rechtliche Verankerung des integralen Risikomanagements beim Schutz vor Naturgefahren, Rechtsgutachten für das Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Hepperle, E. (2008) Schutzauftrag und Subventionierung bei Naturgefahren, Rechtsgutachten für das Bundesamt für Umwelt, 21/08, Bern.
- Honsell, H. (2005) Schweizerisches Haftpflichtrecht, 4. Aufl., Zürich.
- Jagmetti, R. (2005) Energierecht, Schweizerisches Bundesverwaltungsrecht, Band VII, Basel.
- Lienhard, A. & Häsler, P. (2008) Verfassungsrechtliche Grundlagen des Sicherheitsrechts, in: Schweizer, R., Sicherheits- und Ordnungsrecht des Bundes, Schweizerisches Bundesverwaltungsrecht, Bd. III/1, Basel, S. 95–154.
- Kunz, D. (2011) Die Konzessionserteilung, in: Häner, I. & Waldmann, B., Die Konzession, Zürich Basel Genf, S. 27–50.
- Lüthi, R. (2004) Rechtliche Aspekte im Zusammenhang mit der Gefahrenkarte, PLANAT-Reihe 4/2004.
- Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT (2004) Sicherheit vor Naturgefahren, Vision und Strategie, PLANAT-Reihe 1/2004.

- Parlamentarische Verwaltungskontrolle (2007) Evaluation zum Umgang des Bundes mit Naturgefahren, Bericht zuhanden der Geschäftsprüfungskommission des Nationalrats vom 18. Juni 2007.
- Pfammatter, A. (2009) Private Rechte an kulturunfähigem Land, Diss., Schriften INR, Institut für Notariatsrecht und Notarielle Praxis, Nr. 7, Bern.
- Portner, C. (1996) Haftung für Unfälle auf Wanderwegen, BUWAL, Schriftenreihe Umwelt Nr. 266, Bern.
- Rausch, H., Marti, A. & Griffel, A. (2004) Umweltrecht, Hrsg. Haller W., Zürich.
- Rey, H. (2008) Ausservertragliches Haftpflichtrecht, 4. Aufl., Zürich.
- Riva, E. (2011) Konzessionsverhältnis und Leistungsstörung, in: Häner, I. & Waldmann, B., Die Konzession, Zürich Basel Genf, S. 51–71.
- Riva, E. (2007) Wohlerworbene Rechte – Eigentum – Vertrauen, Dogmatische Grundlagen und Anwendung auf die Restwassersanierungen nach Art. 80 des eidgenössischen Gewässerschutzgesetzes, Bern.
- Ruch, A. (2010) Umwelt – Boden – Raum, Schweizerisches Bundesverwaltungsrecht, Band VI, Basel.
- Schweizer, R., Sutter, P. & Widmer, N. (2008) Grundbegriffe, in: Schweizer, R., Sicherheits- und Ordnungsrecht des Bundes, Schweizerisches Bundesverwaltungsrecht, Bd. III/1, Basel, S. 53–94.
- Sobotich, V. (2000) Staatshaftung aus Kontrolltätigkeit im Baurecht, Zürcher Diss., Zürcher Studien zum öffentlichen Recht, Nr. 138, Zürich.
- Sutter, P. (2009) Die Haftung des Staates für Schäden aus Naturgefahren, Sicherheit & Recht 3/2009, S. 175–192.
- Waldmann, B. (2009) Entschädigung aus materieller Enteignung für raumplanerische Nutzungsbeschränkungen zum Schutz vor Naturgefahren?, Sicherheit & Recht 3/2009, S. 159–174.



Wyer, H. (2000) Rechtsfragen der Wasserkraftnutzung, Diss. Visp.

## 14 ANHANG

---

### 14.1 Teilnehmerliste Workshop

Tab. 37: Teilnehmerliste des Workshops vom 18. August 2011 in Bern.

Name	Vorname	Organisation
Aebli	Martin	Gemeindepräsident Pontresina
Bieri	Stephan	Bundesamt für Energie
Bodenmann	Hans	Kraftwerke BKW FMB
Buri	Heinrich	Amt für Wald, Abt. Naturgefahren, Kanton BE
Bürki	Daniel	Kraftwerke Oberhasli AG
Bütler	Michael	Anwaltsbüro Bergrecht, Zürich
Gurtner	Thomas	Schweizer Alpen-Club SAC
Haeblerli	Wilfried	Geographisches Institut, Universität Zürich
Hählen	Nils	Tiefbauamt, Kanton BE
Heusser	Daniel	WWF
Hohl	Bernhard	Bundesamt für Energie
Huggel	Christian	Geographisches Institut, Universität Zürich
Jaeger	Patrick	Mountain Wilderness
Jordan	Frédéric	Eidg. Technische Hochschule Lausanne
Keusen	Hans Rudolf	Geotest, Zollikofen
Künzler	Matthias	Geographisches Institut, Universität Zürich
Lehmann	Therese	Institut für Freizeit und Tourismus, Universität Bern
Loup	Bernard	BAFU, Abt. Gefahrenprävention
Müller	Hansruedi	Institut für Freizeit und Tourismus, Universität Bern
Paul	Frank	Geographisches Institut, Universität Zürich
Pfamatter	Roger	Schweizer Wasserwirtschaftsverband
Rodewald	Raimund	Stiftung Landschaftsschutz

Schaub	Yvonne	Geographisches Institut, Universität Zürich
Schädler	Bruno	Geographisches Institut, Universität Bern
Schleiss	Anton	Eidg. Technische Hochschule Lausanne
Schori	Marc	Bauverwaltung Gemeinde Grindelwald
Stern	Lucien	Amt für Energie und Verkehr, Kanton GR
Trombitas	Mila	Schweizer Tourismus-Verband
Truffer	Amadee	Dienststelle für Energie und Wasserkraft, Kanton VS
Vossebein	André	Axpo
Widmer	Florian	Alpiq Suisse SA

### 14.2 Karten

Auf den nachfolgenden Seiten befinden sich topographische Karten mit den Modellergebnissen der Übertiefungen, welche potenzielle, zukünftige Seen darstellen können.

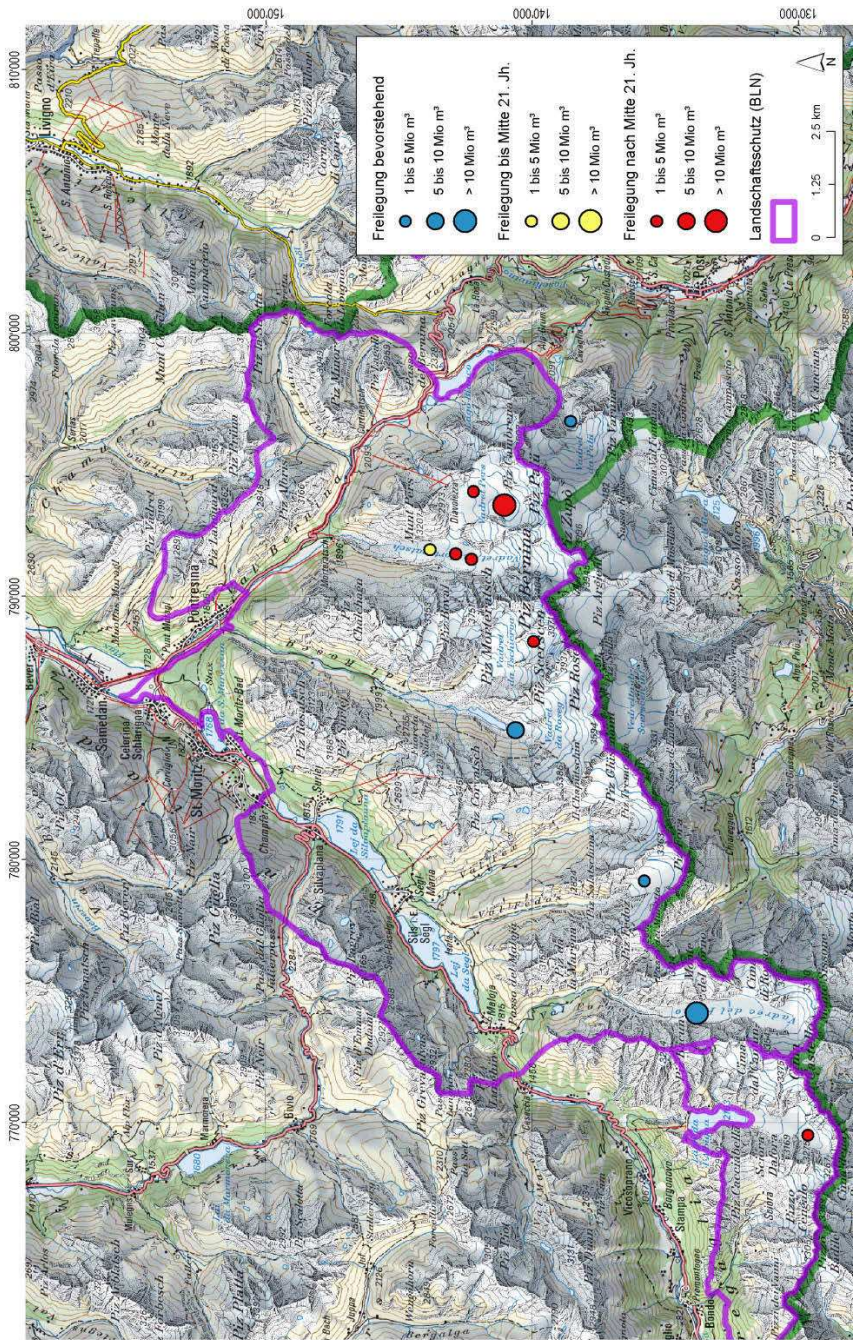


Fig. 113: Modellierte Überbietungen (~ potenzielle Seen) in den heute eisbedeckten Gletscherbetten des Engadins. Die Überbietungen sind klassifiziert nach ihrem Volumen (Kreisgrösse) und dem erwarteten Zeitpunkt ihrer Freilegung (Kreisfarbe). Überbietungen mit einem Volumen < 1 Mio. m<sup>3</sup> sind nicht dargestellt. Modell und Berechnung: Linsbauer et al. (2012). Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA110005).



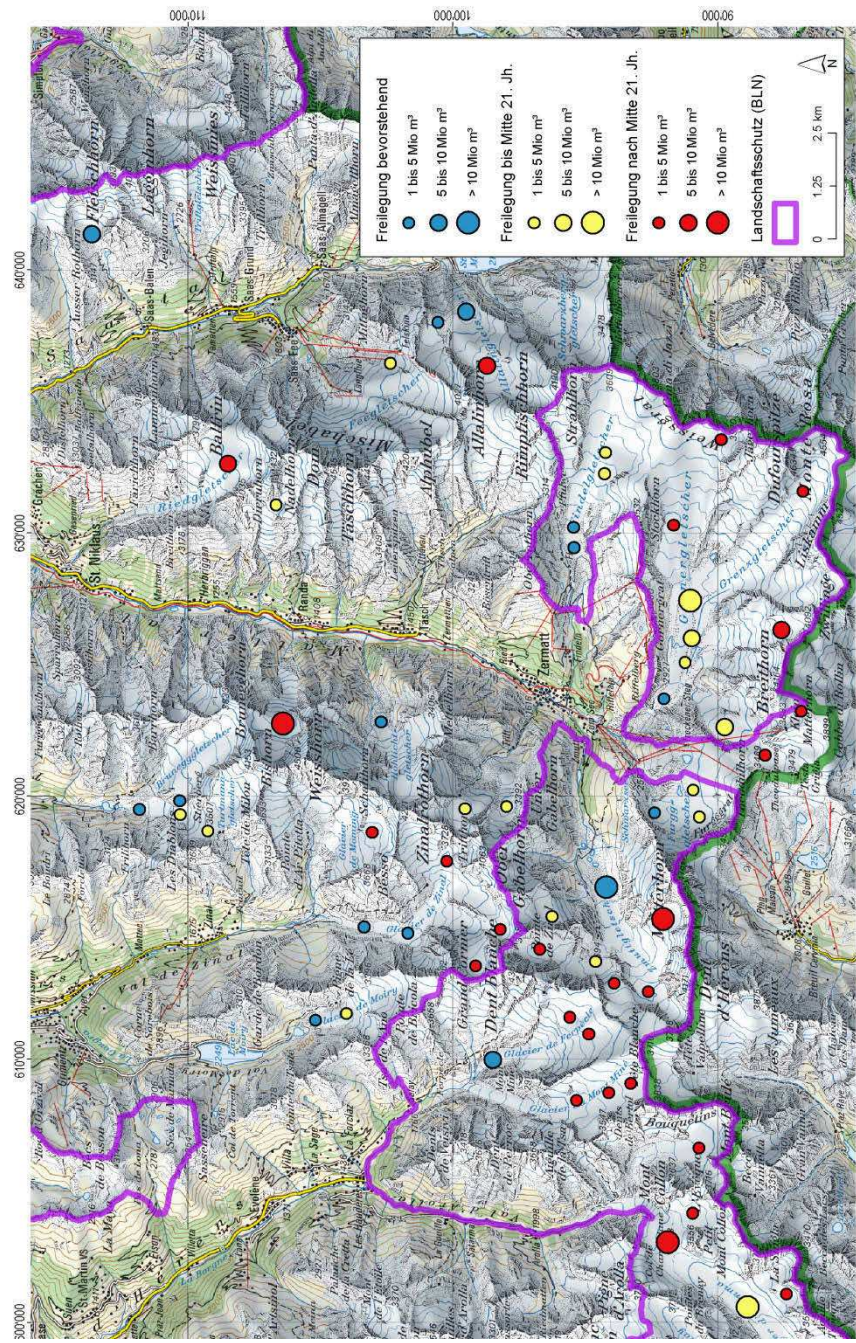


Fig. 114: Modellerte Übertiefungen (~ potenzielle Seen) in den heute eisbedeckten Gletscherbetten der Region Zermatt. Die Übertiefungen sind klassifiziert nach ihrem Volumen (Kreisgrösse) und dem erwarteten Zeitpunkt ihrer Freilegung (Kreisfarbe). Übertiefungen mit einem Volumen < 1 Mio. m<sup>3</sup> sind nicht dargestellt. Modell und Berechnung: Linsbauer et al. (2012). Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA110005).



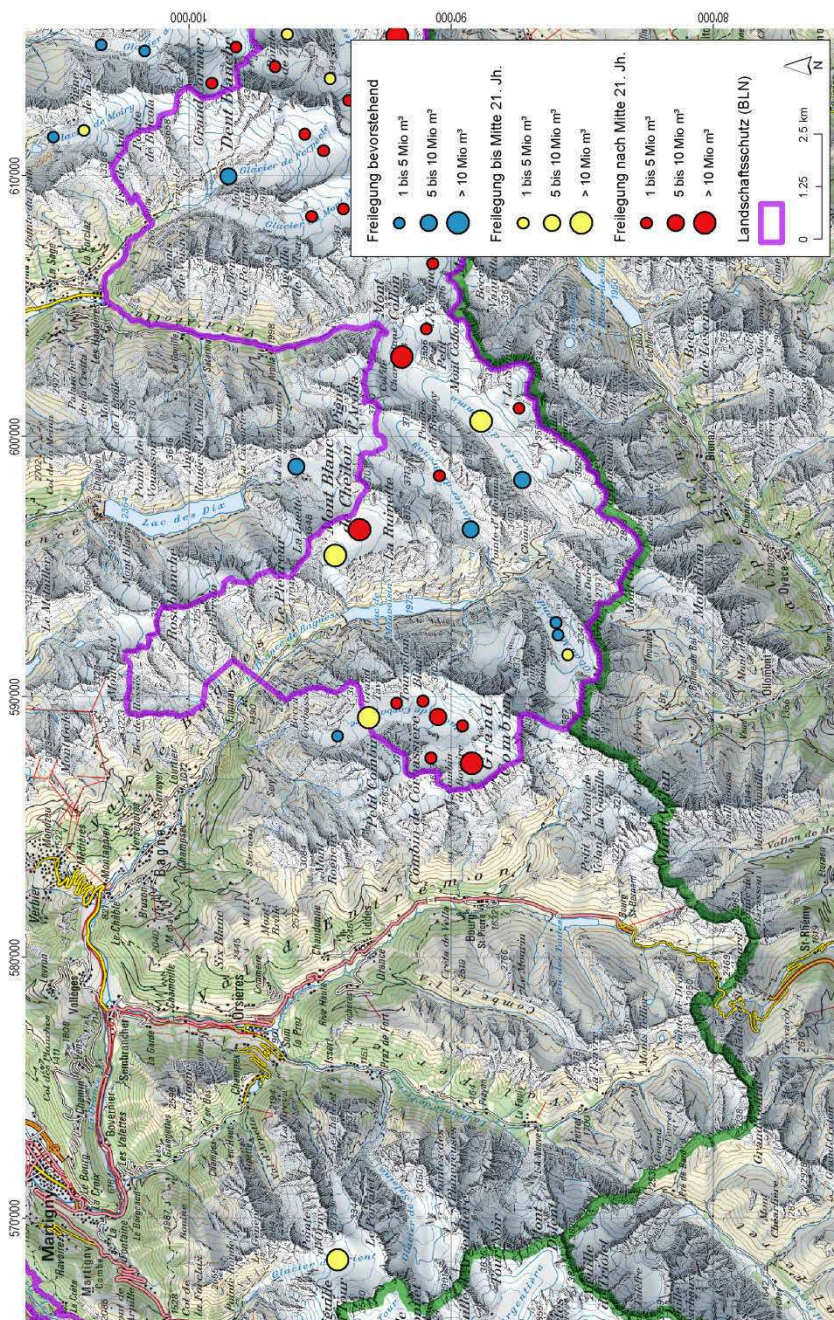


Fig. 115: Modellerte Überflutungen (~ potenzielle Seen) in den heute eisbedeckten Gletscherbetten rund um den Lac de Mauvoisin. Die Überflutungen sind klassifiziert nach ihrem Volumen (Kreisgrösse) und dem erwarteten Zeitpunkt ihrer Freilegung (Kreisfarbe). Überflutungen mit einem Volumen  $< 1 \text{ Mio. m}^3$  sind nicht dargestellt. Modell und Berechnung: Linsbauer et al. (2012). Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA110005).



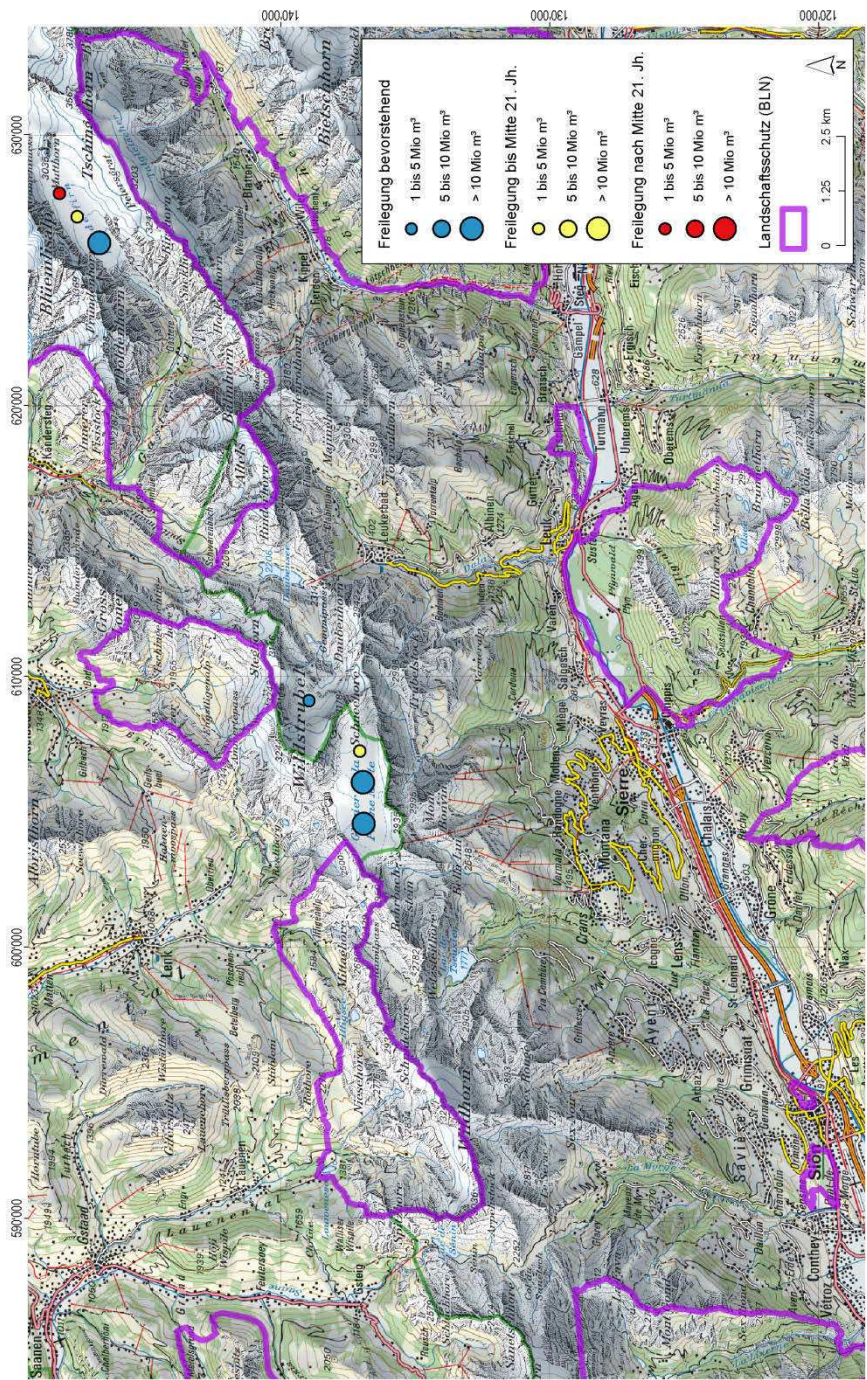


Fig. 116: Modellerte Überbietungen (~ potenzielle Seen) in den heute eisbedeckten Gletscherbetten der Plaine Morte und des Kanderfirms. Die Überbietungen sind klassifiziert nach ihrem Volumen (Kreisgrösse) und dem erwarteten Zeitpunkt ihrer Freilegung (Kreisfarbe). Überbietungen mit einem Volumen < 1 Mio. m<sup>3</sup> sind nicht dargestellt. Modell und Berechnung: Linsbauer et al. (2012). Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA110005).



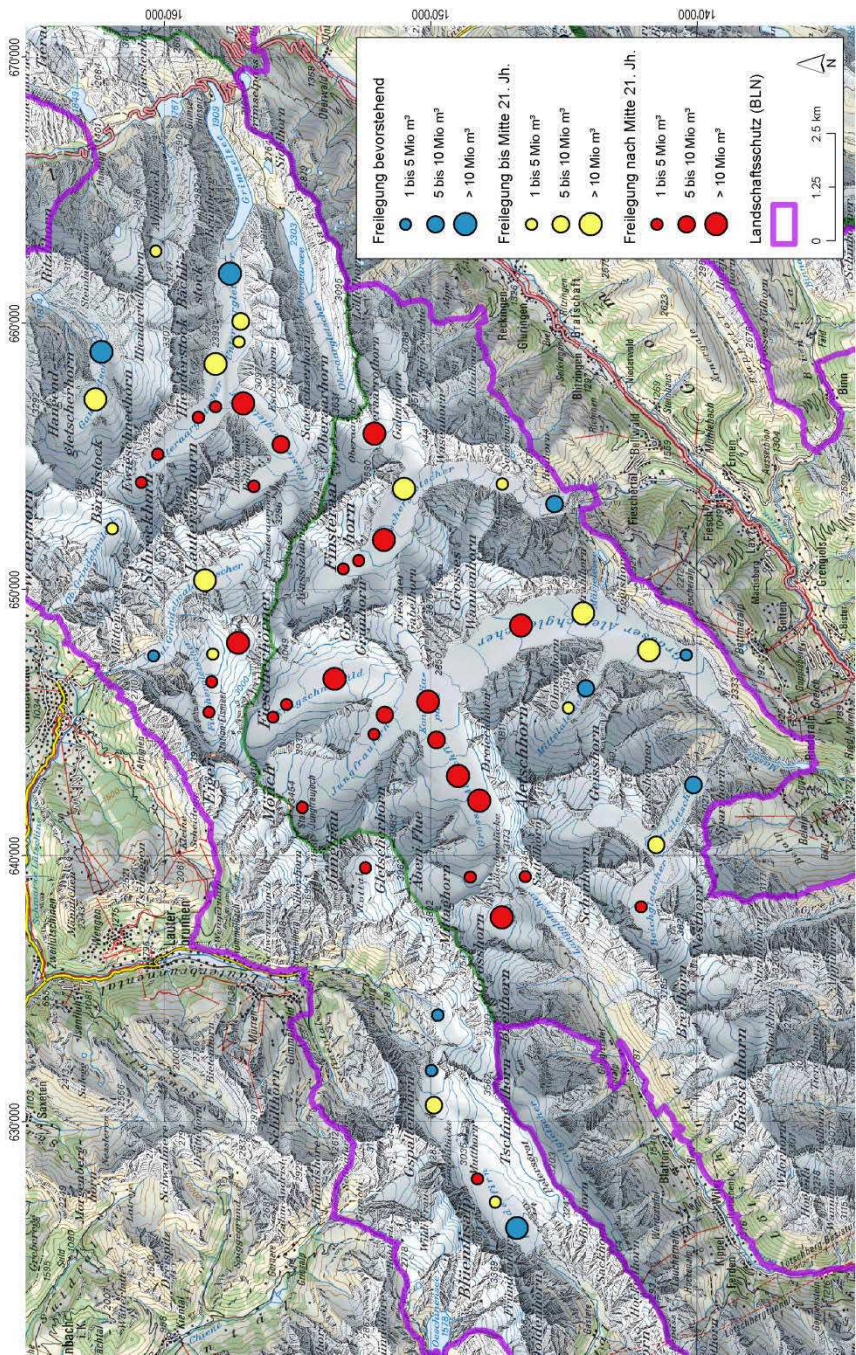


Fig. 117: Modellierte Überbietungen (~ potenzielle Seen) in den heute eisbedeckten Gletscherbetten der Aletschregion. Die Überbietungen sind klassifiziert nach ihrem Volumen (Kreisgrösse) und dem erwarteten Zeitpunkt ihrer Freilegung (Kreisfarbe). Überbietungen mit einem Volumen < 1 Mio. m<sup>3</sup> sind nicht dargestellt. Modell und Berechnung: Linsbauer et al. (2012). Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA1100005).



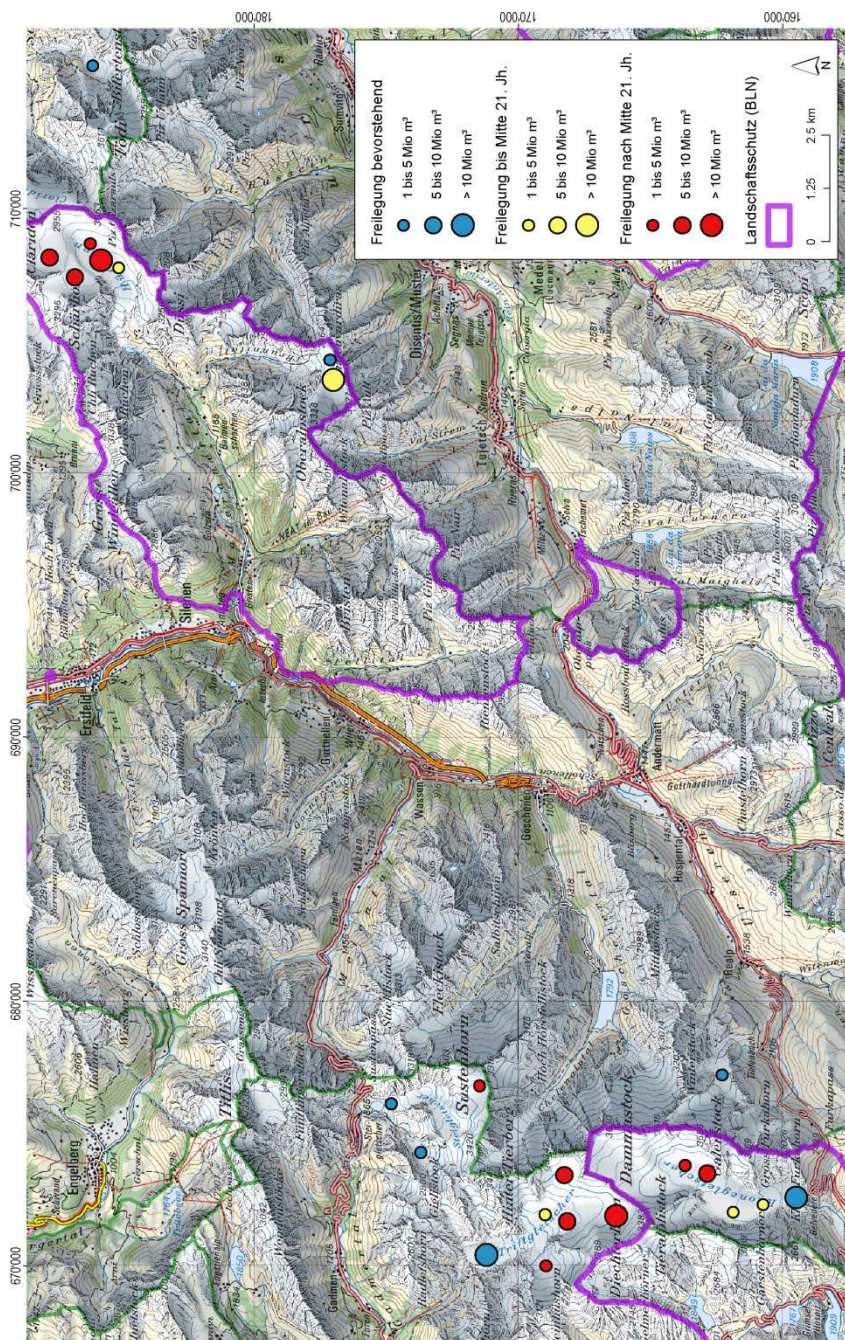


Fig. 118: Modellierte Übertiefungen ( $\sim$  potenzielle Seen) in den heute eisbedeckten Gletscherbetten zwischen Furka- und Sustenpass sowie des Hüffmirs. Die Übertiefungen sind klassifiziert nach ihrem Volumen (Kreisgrösse) und dem erwarteten Zeitpunkt ihrer Freilegung (Kreisfarbe). Übertiefungen mit einem Volumen  $< 1$  Mio.  $\text{m}^3$  sind nicht dargestellt. Modell und Berechnung: Linsbauer et al. (2012). Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA110005).

## Neue Seen als Folge des Gletscheschwundes im Hochgebirge: Klimaabhängige Bildung und Herausforderungen für eine nachhaltige Nutzung [Projekt NELAK des NFP 61]

Weltweit schwinden die Gletscher rasant, auch die Alpen dürften ihre Gletscher in den kommenden Jahrzehnten weitgehend verlieren. In den eisfreien Gebieten bilden sich dabei zahlreiche neue Seen. Das Projekt NELAK behandelt in einem integrativ-multidisziplinären Ansatz Fragen nach dem optimalen Umgang mit diesen neuen Elementen der Landschaft und des Wasserkreislaufs. In engem Kontakt mit Behörden und Wirtschaft werden Grundlagen zu relevanten Aspekten der Naturgefahren, der Wasserkraft, des Tourismus und des Rechts erarbeitet sowie an Fallbeispielen diskutiert. Der vorliegende Bericht enthält eine erste systematische Wissensbasis sowie Empfehlungen für die dringend notwendige Planung: Was kommt auf uns zu, was können wir tun und wie gehen wir am besten vor?



## Nouveaux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne: développement lié au climat et défis pour une utilisation durable [projet NELAK du PNR 61]

Les glaciers déclinent à toute vitesse dans le monde entier; les Alpes ne sont pas épargnées et devraient perdre la plupart de leurs glaciers au cours des prochaines décennies, entraînant la formation de nombreux nouveaux lacs. Le projet NELAK vise à optimiser la gestion des nouveaux éléments du paysage et du cycle hydrologique par le biais d'une approche multidisciplinaire et intégrée. Le contact étroit avec les autorités et les milieux économiques a permis d'élaborer les bases des aspects importants concernant les dangers naturels, l'énergie hydraulique, le tourisme et le droit; ils sont illustrés à partir d'études de cas. Ce rapport contient une première base de connaissances systématiques ainsi que des recommandations pour la planification des mesures les plus urgentes: ce qui nous attend, ce que nous pouvons faire et comment le réaliser au mieux?



ISBN 978-3-7281-3533-9 [Printausgabe]

ISBN 978-3-7281-3534-6 [open access]

Doi-Nr. 10.3218/3534-6

[www.vdf.ethz.ch](http://www.vdf.ethz.ch) | [verlag@vdf.ethz.ch](mailto:verlag@vdf.ethz.ch)